

Technická univerzita v Liberci

Fakulta strojní



Jaroslav Fajt

**Analýza procesu výroby modelů nových výrobků ve firmě
Preciosa Jablonec n. N.**

Diplomová práce

2009

Technická univerzita v Liberci

Fakulta strojní

Katedra výrobních systémů

Studijní program M 2301 Strojní inženýrství

Studijní obor: 2301T030 Výrobní systémy

Zaměření: Pružné výrobní systémy pro strojírenskou výrobu

**Analýza procesu výroby modelů nových výrobků ve firmě
Preciosa Jablonec n. N.**

**Process analysis of new product's models manufacturing in
Preciosa Jablonec n. N.**

KVS – VS – 189

Jaroslav Fajt

Vedoucí práce: Ing. Petr Zelený, Ph.D.

Konzultant: Ing. Jiří Šafka, Dis.

Počet stran: 62

Počet grafů: 4

Počet obrázků: 56

Počet tabulek: 6

V Liberci 1. června 2009

TÉMA: **Analýza procesu výroby modelů nových výrobků ve firmě Preciosa Jablonec n. N.**

ANOTACE: Práce se zabývá možnostmi zhotovení prototypů, které by se nejvíce přibližovaly hotovým dílům z broušeného křišťálu od firmy Preciosa s.r.o. Cílem této práce je najít nejlepší technologii RP, která by byla schopna splnit kladené požadavky. V případě 5 osého obrábění optimalizovat a vyzkoušet výrobu vzorků z transparentní plastické hmoty. Výsledkem je řada vyrobených vzorků, přehled cenových kalkulací a také časové údaje spojené s výrobou.

THEME: **Process analysis of new product's models manufacturing in Preciosa Jablonec n. N.**

ANNOTATION: The work deals with the possibilities of making prototypes that would be most ready to move parts of the cut crystal from Preciosa s.r.o. The aim of this work is to find the best RP technology, which would be able to fulfill the requirements asked. In the case of 5 axis working and try to optimize the production of samples of transparent plastic. The result is a series of manufactured samples, overview of pricing calculations, and time data associated with the production.

Klíčová slova: Rapid Prototyping, inovace, Preciosa s.r.o., prototyp, 5 osé obrábění

Zpracovatel: TU v Liberci, Fakulta strojní, Katedra výrobních systémů

Dokončeno: 2009

Archivní označení zprávy:

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 o právu autorském, zejména § 60 (školní dílo) a § 35 (o nevýdělečném užití díla k vnitřní potřebě školy). Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy a užití mé práce a prohlašuji, že **souhlasím** s případným užitím mé práce (prodej, zapůjčení apod.). Jsem si vědom toho, že užit své diplomové práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do její skutečné výše).

Datum: 1. června 2009

Podpis:

Místopřísežné prohlášení

Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury pod vedením vedoucího diplomové práce.

V Liberci 1. června 2009

Poděkování

Touto cestou bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Petru Zelenému, Ph.D. a odbornému konzultantovi Ing. Jiřímu Šafkovi, Dis. za cenné rady, připomínky a především čas věnovaný této diplomové práci.

Rovněž děkuji oddělení TPV ve firmě Preciosa s.r.o. zejména panu Zdenku Dvořákovi za poskytnutý materiál, podklady a vzorky výrobků, které mi pro účely diplomové práce obstaral.

Nakonec bych chtěl poděkovat rodině a přátelům za jejich podporu po celou dobu mého studia.

OBSAH

Seznam zkratek	10
1 Úvod	11
1.1 Co je to prototyp?.....	11
1.2 Obecné požadavky na prototyp	11
2 Stanovení cílů	12
3 Analýza současného stavu	13
3.1 Jak vyrábí vzorky Preciosa.....	13
3.2 Požadavky kladené na vzorky firmou Preciosa	15
4 Možnosti řešení	16
4.1 Přehled vzorků	16
5 Virtuální model	18
5.1 Rhinoceros + UDT technologie	18
6 Rapid Prototyping.....	19
6.1 Princip metody	19
6.2 Dělení technologie RP.....	21
6.4 3D Print	22
6.4.1 Výroba vzorků pomocí 3DP	23
6.4.2 Zhodnocení metody 3D Print.....	25
6.5 Stereolitografie	26
6.5.1 Výroba vzorků pomocí SLA	27
6.5.2 Zhodnocení metody Stereolitografie	28
6.6 Fused Deposition Modeling	30
6.6.1 Výroba vzorků pomocí FDM.....	31
6.6.2 Zhodnocení metody FDM.....	32
7 Technologie 5 osého obrábění.....	34
7.1 Základní parametry centra Integrex 100-IV	35
7.2 Příprava dat	35
7.3 EdgeCam	36

7.4	Samotné obrábění	37
7.5	Zhodnocení 5 osého obrábění	42
8	Odlévání do silikonové hmoty	45
8.1	Vytvoření formy	46
8.2	Samotné odlévání	48
8.3	Zhodnocení odlévání do silikonové formy	50
9	Celkové zhodnocení	52
10	Závěr	57
	Seznam použité literatury	59
	Seznam obrázků, tabulek a grafů	61

Seznam zkratk

3DP	3D Print - trojrozměrný tisk (RP technologie)
CAD	Computer Aided Design – počítačem podporované navrhování
CAID	Computer Aided Industrial Design – počítačem podporovaný průmyslový návrh
CAM	Computer Aided Manufacturing – počítačem podporované obrábění
FMD	Fused Deposition Modeling – RP technologie
PC	Personal Computer – osobní počítač
RP	Rapid Prototyping – rychlá tvorba modelu
STL	CAD Software Solid Modeling – Prototyping soubor - Stereolitografie
STP	standardizovaný datový formát Step
TPV	technická příprava výroby
UDT	Universal Deformation Technology – 3D modelovací technologie

1 Úvod

1.1 Co je to prototyp?

Slovo prototyp je odvozeno z řečtiny a volně bychom ho mohli přeložit jako „pravzor“ nebo „praobraz“. [5]

Z pohledu inovačního procesu se jedná o první zkušební vzorek předmětu určeného k výrobě, na němž se ověřuje konstrukce, tvar, funkce i jiné zásadní vlastnosti výrobku. Výroba prototypů je nutná z hlediska ověření technologie výroby. Díly na výrobu prototypu nejsou většinou finální, používají se prototypové technologie, jako např. kompozitní formy, formy z umělého dřeva, odlitky do speciálních forem, RP technologie apod. [5]

Rozeznáváme dva hlavní typy prototypů. Mezi rychleji a levněji realizované patří virtuální prototyp. Tento prototyp se vytváří v PC za pomoci nejmodernějších softwarů k tomu určených. V dnešní době lze v PC na tomto prototypu i odzkoušet technologické i fyzikální vlastnosti. Nejčastějším výstupem je pouze obraz prototypu, který co nejvíce připomíná reálný model, ale nesmíme opomenout i různé typy grafů a tabulek, které jsou výstupem prováděných analýz.

Druhý typ prototypu je fyzický model. Tento typ je sice náročnější a nákladnější, ale s fyzickým modelem se lépe pracuje. Snadněji se dá prohlédnout design, kontrolovat smontovatelnost a provádět funkční zkoušky.

1.2 Obecné požadavky na prototyp

Snaha je vyrobit prototyp co nejrychleji s minimálními finančními náklady. I přes tyto faktory musí prototyp splňovat většinou vysoké nároky. Prototyp by měl být vyroben v měřítku 1:1 a mít shodné fyzikální i vzhledové vlastnosti tak jako bude mít budoucí sériově vyráběný produkt. Při výrobě prototypů se často musí přistoupit k určitým kompromisům v požadavcích na prototyp. Nejčastěji tak bývá u volby materiálu, aby se dala použít moderní a rychlá technologie. Při výrobě prototypů se nejčastěji používá papír, vosk, různé typy plastických hmot – tím je zaručena nižší doba výroby a samozřejmě i nízké náklady na výrobu.

2 Stanovení cílů

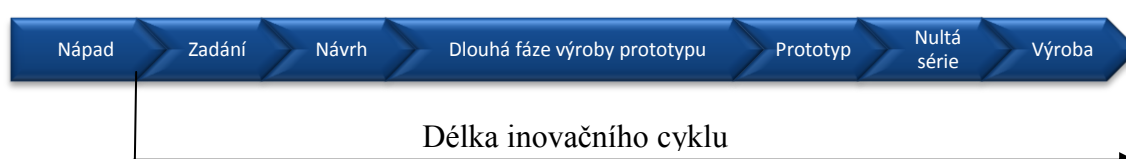
Cílem této práce je najít a zmapovat technologie, které se v současné době používají na výrobu různých typů prototypů. Je potřeba hledat technologie splňující takové požadavky, jaké klade na své vzorky Preciosa s.r.o.

Při hodnocení těchto technologií se bude zaměřovat na čtyři důležité faktory. Mezi nejdůležitější faktory patří kvalita fasetování a použitého materiálu, tzn. přiblížení se vlastnostem skla. Další dva faktory jsou spojeny se samotnou výrobou vzorku. Jde o hodnocení celkové doby výroby, kde je započítán čas výroby spolu s časem dodání. Dále jde o cenu za výrobu vzorku.

3 Analýza současného stavu

3.1 Jak vyrábí vzorky Preciosa

V dnešní době je nejdůležitějším nástrojem k udržení se na světovém trhu uvádění stále nových produktů. Děje se tak 3krát za rok. Za minulý rok to činilo přibližně 50 kusů figurek a 90 až 100 kusů bižuterie. A proto je snaha co nejvíce zrychlit inovační proces oddělení TPV, které má inovaci na starosti. Na obrázku 3.1 je naznačena předběžná logistika vzniku nového produktu. Největší prodlení nastává ve fázi přechodu od návrhu k prototypu (vzorku).



Obr. 3.1: Vznik nového produktu

V současné době se vzorky vyrábějí pouze ručně, a to ze sádry, silikonové hmoty, kovu, hlíny, skla a byl tu i pokus použít technologii Rapid prototyping. Až z tohoto důvodu využití RP se v TPV začal používat software Rhinoceros, který je vynikajícím prostředkem pro 3D modelování v odvětví šperkařiny. Výstupem jsou kvalitní 3D modely (obrázky) a hlavně data ve formátu STL.

Vzorky, které se nyní vyrábí na oddělení TPV, však mají spoustu nevýhod. V první řadě se vzorky svým vzhledem a vlastnostmi značně vzdalují od skla. Výroba vzorků se skládá ze tří kroků. Nejprve se vyrobí hliněný model, na kterém je již patrné jaké rozměry budoucí figurka bude mít, v jaké bude poloze atd. Po odsouhlasení a vytvrzení hliněného modelu je na řadě druhá fáze. Hliněný model se obalí do silikonové hmoty Stomaflex Solid, jedná se o otiskovací hmotu, která je využívána například k otiskům zubů.

Tato hmota se vytvoří sloučením pastovité směsi a vulkanitu, vzniklá směs je stále tvárná a dokonale kopíruje povrch předmětu (obr. 3.2). Vytvrzená hmota po vyjmutí hliněného modelu slouží jako lící forma. V poslední fázi se do formy nalije rozmíchaná sádra, která po vytvrzení tvoří finální vzorek (obr. 3.3).



Obr. 3.2: Forma z hmoty Stomaflex Solid

Tento vzorek si vyrábí sám designér podle vlastních představ. Je to výhodné, protože nápad zůstává na oddělení TPV. Nápad se nemusí předkládat externí firmě a nehrozí tak jeho odcizení nebo napodobení konkurencí. Výroba vzorku za pomoci sádry není nákladná a je velmi rychlá.

Sádrový odlitek je poté možno dodatečně brousit, aby bylo docíleno lepšího fasetování a povrchu. Na sádrových vzorcích lze sice docílit dobré fasetování, ale na první pohled vzorky nevypadají tak jak by měly vypadat ve finální podobě. Velkou měrou se na tom podílí neprůhlednost a pórovitost sádry, přičemž pórovitost zapříčiňuje značné, pouhým okem viditelné nedokonalosti povrchu.



Obr. 3.3: Sádrový vzorek medvíděte

Kovové vzorky se ve většině případů dělají jen pro bižutérii (drobné vzorky) a pro velmi složité tvary, jakou jsou např. podstavce u figurek. Výrobu kovových vzorků firma Preciosa s.r.o. zadává externím firmám poté, co je jejich vzhled odsouhlasen. Nejedná se tedy o prototyp jako takový, ale jde tu již o finální produkt, který je pouze osazen křišťálovým kamenem.

3.2 Požadavky kladené na vzorky firmou Preciosa

Preciosa s.r.o. patří mezi přední světové producenty broušeného křišťálu. Soustředí se na výrobu strojně broušených šatonů, perlí a jiných bižuterních kamenů velmi dobré kvality v širokém sortimentu tvarů, velikostí a barev. Svoji technologií broušení a leštění se snaží podtrhnout mimořádné vlastnosti křišťálu. Vysoká brilance a duhový třpyt všech vyleštěných faset jsou charakterizujícím znakem všech výrobků firmy Preciosa s.r.o. [9]

Z tohoto důvodu Preciosa s.r.o. klade stejné nároky i na výrobu vzorků. V případě skleněného komponentu jde o model z takového materiálu, jenž se nejvíce přibližuje transparenci skla, jeho lomu světla, brilanci a s tím i souvisejícím fasetování. Tyto požadavky je nutné splnit, protože hotový vzorek se předkládá inovační komisi. Ta musí mít v rukou co nejvíce realistický model, aby mohla rozhodnout o dalším postupu, či v nejhorším případě i o zamítnutí modelu.

4 Možnosti řešení

Jako první možnost řešení vzorků byly zvoleny různé typy RP. RP v dnešní době patří bezesporu mezi nejrychlejší způsoby výroby prototypů, které v posledních letech navíc umožňují výrobky v dobré kvalitě. Další faktor, který upřednostňuje použití RP, byla skutečnost, že Preciosa s.r.o. je schopná své 3D modely převést do datového formátu STL, vytvořeného speciálně pro RP.

Dále byla zvolena výroba vzorků pomocí technologie obrábění na víceprofesním 5 osém obráběcím centru. Toto centrum je schopné na jedno upnutí vyrobit celý výrobek, ať se jedná o rotační nebo nerotační součást. Další výhodou je možnost použití frézování a zároveň soustružení.

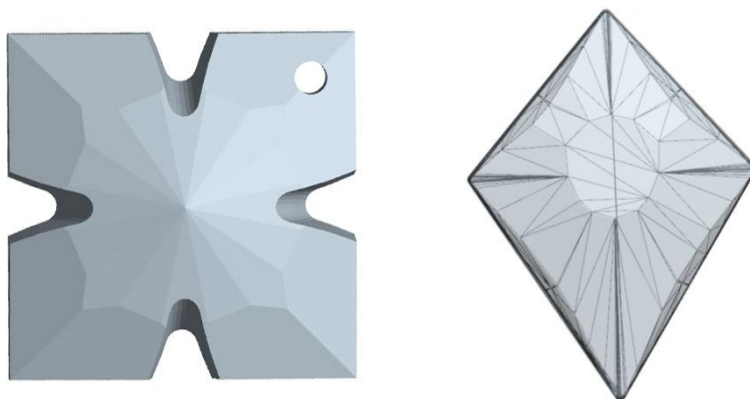
Jako poslední možnost bylo zvoleno řešení odlévání do silikonové formy. Tato metoda potřebuje k vytvoření dokonalého produktu kvalitní vzor. Jako vzor bude použit výrobek, odpovídající požadavkům Preciosy s.r.o. Bude vyroben některou z předchozích uvedených technologií.

4.1 Přehled vzorků

Firma Preciosa s.r.o. pro odzkoušení výroby prototypů zapůjčila 5 kusů výrobků ze své nabídky. Vzorky tvořila sada 3 prstenů (obr. 4.1), které jsou ještě ve fázi návrhu a zastupují odvětví bižuterie. Přejít mezi bižuterií a figurkou byl vzorek sněhové vločky (obr. 4.2, obr. 4.3). Jako zástupce figurek byla vybrána figurka medvídky (obr. 4.4). Vzorek medvídky a sněhové vločky už mají fázi prototypu uzavřenu a jsou v prodeji. Vzorky byly poskytnuty ve formě dat a v případě medvídky a vločky byl poskytnut i fyzický model.



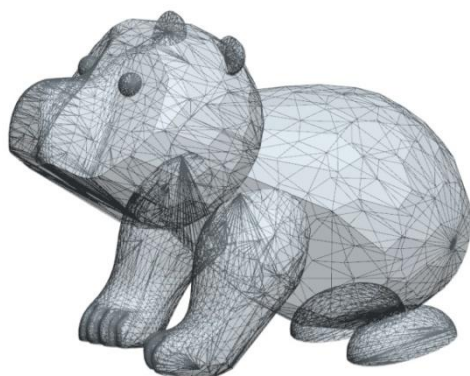
Obr. 4.1: Prsten 1, 2 v datovém formátu STP a prsten 3 v STL



Obr. 4.2: Střed a lístek sněhové vločky ve formátu STP a STL



Obr. 4.3: Fotografie již vyrobené skleněné vločky



Obr. 4.4: Medvídě ve formátu STL a skleněný model

5 Virtuální model

Zkoušky fyzických prototypů, které bývají klíčovou složkou vývojového procesu, nejsou v dnešní době jedinou metodou testování nových produktů. V posledních letech se rychle vyvíjí oblast virtuálního prototypingu, jež představuje alternativu ke zkouškám prováděným s fyzickým modelem. [7][15]

5.1 Rhinoceros + UDT technologie

Universal Deformation Technology je nová trojrozměrná modelovací technologie. UDT převratně zjednodušuje způsob, jak vytvářet šperky velice složitého tvaru. Tento software spadá do kategorie CAID (*Computer Aided Industrial Design*) systémů. [7][15]

Rhinoceros se využívá ve šperkařství zejména pro modelování složitých tvarů díky své snadné použitelnosti (obr. 5.1). Technologie UDT zjednodušuje operace trojrozměrného modelování díky umožnění transportu objemových modelů (těles) ale i ploch, které jsou obvykle vytvořené v rovině, do 3D prostoru, aniž by byla porušena hermetická vodotěsnost těles. Tato podmínka je nezbytná pro převod do formátu STL a data jsou hned připravená do rapid prototypingového stroje. [7][15]



Obr. 5.1: Virtuální model Prstenu 2 v programu Rhinoceros

Tuto technologii lze považovat za velmi levnou. Náklady spojené s výrobou jsou minimální a to jen za pořízení příslušného softwaru. Vzorky jsou jen v podobě dat, které lze vytisknout v měřítku 1:1, nicméně tu není možnost vzorek fyzicky uchopit a prohlédnout. Tato technologie se dá použít v prvotních fázích představy o novém produktu.

6 Rapid Prototyping

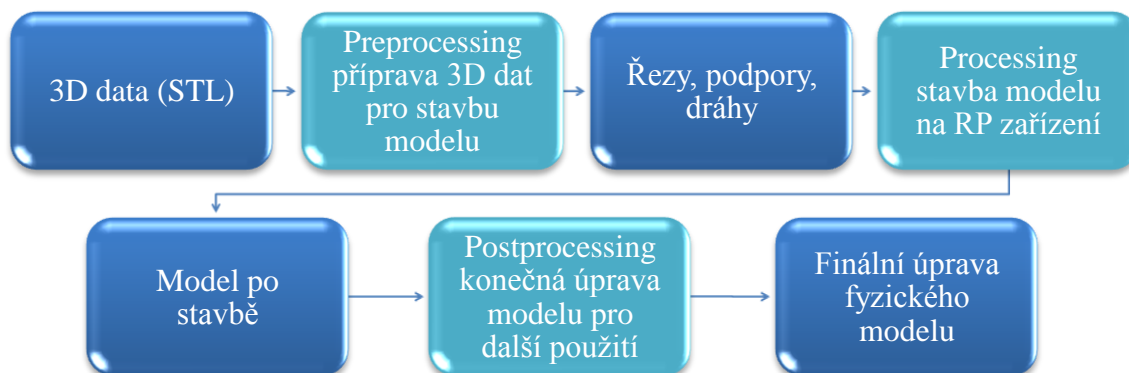
Cílem Rapid Prototyping je vytvoření reálného modelu z počítačových dat v co nejkratším čase a v co nejvyšší kvalitě. Historie této technologie sahá do 80. let minulého století, kdy byla vyvinuta technika Stereolitografie. Použití této technologie má za následek zrychlení celého procesu vývoje výrobku a tedy i snížení nákladů a zlepšení kvality. Technologie umožňuje již v etapě vývoje ověřit funkci vyvíjeného výrobku, design a ergonomii, ale slouží také k výrobě finálních výrobků tam, kde se jedná o menší počet kusů nebo o výrobu součástí klasickými technologiemi nevyrobitelné. [3][8]

Pro technologie RP je specifické, že fyzický model vytváří postupně po jednotlivých vrstvách materiálu. Jednotlivé vrstvy jsou postupně přidávány již k dříve vytvořeným. Na rozdíl od klasických metod obrábění, kdy je materiál postupně odebírán z výchozího polotovaru, je materiál při metodách RP postupně přidáván. Metody RP se především odlišují rozdílným fyzikálním principem při tvorbě jednotlivých vrstev. [3]

Podstatné je, že stavba modelu, který je postupně tvořen z vrstev, je nezávislá na jeho tvaru a složitosti geometrie. Místo týdnů nebo měsíců je možnost pomocí metod RP získat fyzický model v několika hodinách, maximálně dnech. Další výraznou předností RP je možnost provedení změny výrobku ještě v jeho návrhové části, tedy dříve než je výrobek schválen a reálně vyráběn. [3]

6.1 Princip metody

Postup při RP bývá často rozdělen do třech základních etap zpracování, označovaných jako preprocessing, processing a postprocessing (obr. 6.1).



Obr. 6.1: Schéma procesu RP [3]

Do etapy preprocessing řadíme všechny kroky, které souvisí s přípravou dat pro systémy RP. Patří sem například transformace dat ze systémů CAD do formátu STL, při kterém dochází i k náhradě geometrického tvaru souborem rovinných trojúhelníkových plošek. Takto připravená data jsou pak načtena do speciálního softwaru RP. Virtuální (počítačový) model je pro výrobu rozdělen na velké množství jednotlivých vrstev o tloušťce v řádu setin až desetin milimetru, které je možno považovat v podstatě za 2D. Dále je navržena podpurná konstrukce – je-li nutná pro vytvoření modelu a pro oddělení modelu od nosné desky. [3]

Po generaci 2D řezů, popisujících libovolnou 3D geometrii, nastává vlastní processing – tzn. stavba modelu na RP zařízeních. Po vytvoření modelu v systémech RP následuje skupina kroků, které se nazývají postprocessing. Prvním krokem je součást ze zařízení vyjmout. Pokud je prostor součásti obklopen okolním materiálem je nutno materiál odstranit. U některých metod je zhotovený díl křehký a vyžaduje další následné zpracování, aby došlo k vytvrzení. [3]

Dalším krokem je odstranění podpor, který však není u některých metod potřebný. A konečně posledním krokem je povrchová úprava RP modelu. Schodečková struktura součásti a oblasti podpor mohou být mechanicky upraveny speciálními postupy (tmelení, finišování). Některé materiály mohou být následně standardně obrobena, barvena, lakována nebo galvanicky pokoveny. [3]

6.2 Dělení technologie RP

Principy technologie RP je možno rozdělit z několika hledisek.

Dělení z hlediska použitého materiálu:

- Tekuté materiály: Stereolitografie
- Práškové materiály: Selective Laser Sintering, Direct Shell Production Casting, ProMetal 3D printing, Direct Laser Forming
- Tryskové spojování: Multiphase Jet Solidification
- Tryskové tištění: Fused Deposition Modeling, Ballistic Particle Manufacturing, Multi-Jet Modeling, Model Marker 3D printing
- Polymerní materiály: Solid Ground Curing
- Papírové materiály: Laminated Object Manufacturing

Dělení z hlediska výrobního postupu:

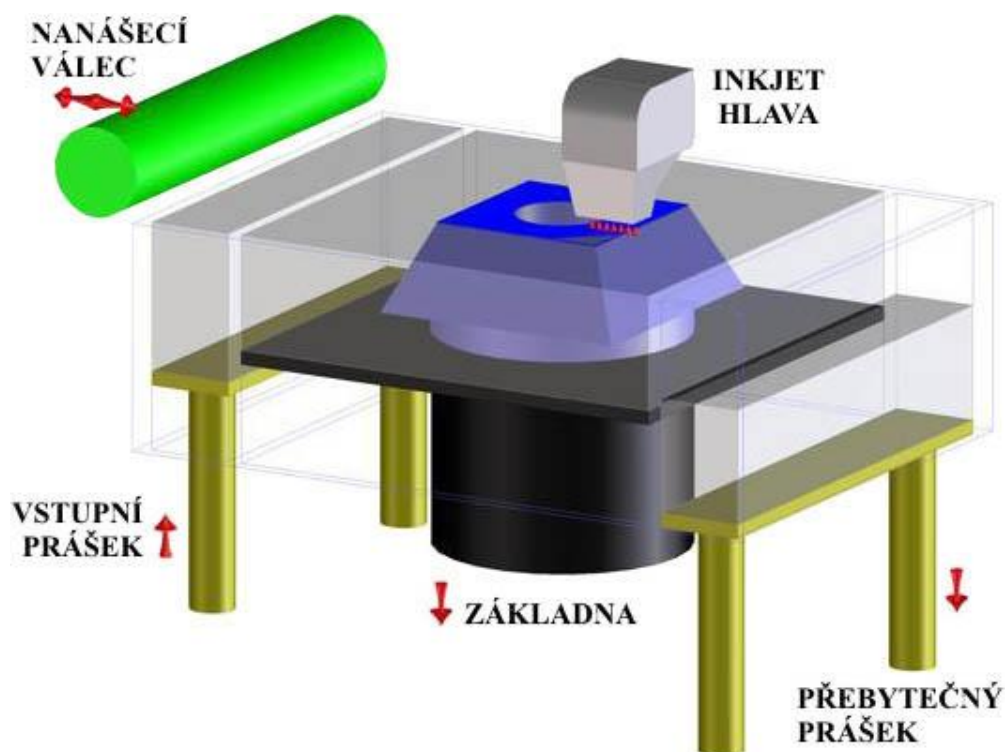
- Systém přidávání vrstev při použití laseru s vytvrzováním bod po bodu
- Systém přidávání vrstev při použití laseru s vytvrzováním po vrstvách
- Systém přidávání vrstev bez použití laseru s vytvrzováním bod po bodu
- Systém přidávání vrstev bez použití laseru s vytvrzováním po vrstvách

6.4 3D Print

Metoda 3D print byla vyvinuta na Massachusetts Institute of Technology a jako výchozího materiálu užívá různé typy prášků. Práškový materiál je na bázi škrobu a celulózy, do nějž se tiskne pojivo na bázi vody. V oblasti preprocessingu není nutno generovat podpory. Zhotovené vrstvy jsou při 3DP obklopeny nezpracovaným okolním práškovým materiálem, který slouží jako podpora. Proces tvorby 2D řezů probíhá tedy pouze na geometrii 3D modelu. U této technologie není použit laser, ale je nahrazen inkjetovou hlavou, která nanáší pojivo na prášek. Porézní strukturu je možno zlepšit ponořením do teplého vosku a tím zvýšit i pevnost modelu. [3][8]

Proces probíhá v komoře válcovitého tvaru s pohyblivým válcem. V tenké vrstvě je ze zásobníku na základnu rovnoměrně nanášen práškový materiál. Rotující válec nanáší tenkou vrstvu práškového materiálu a pohybuje se v prostoru mezi dvěma kazetami. Injektová hlava, která se pohybuje rastrovým způsobem v rovině XY, vystřikuje pojivo na vybranou oblast jedné vrstvy práškového materiálu. Toto pojivo pak spojuje částice práškového materiálu a vytváří tuhou hmotu jedné vrstvy. Když je vrstva dokončena, posune se válec o tloušťku jedné vrstvy a to tak, že deska klesne a proces se opakuje. Viz. obr. 6.2. [3][8]

Když je model vytvořen, je nutné ponechat ho v prášku, aby se pojivo spojilo s práškem a vytvrdilo se. Po vytvrdnutí se musí odstranit okolní prášek a model je možno vyjmout. Model se musí ještě před dalším použitím zcela zbavit přebytečného prášku, k tomu slouží druhá komora. Ve druhé komoře jsou ve dvířkách 2 průchody na ruce, které umožňují uchopení a manipulaci s modelem. V komoře je také tryska se stlačeným vzduchem pro lepší odstranění přebytečného práškového materiálu. Po očištění modelu následuje jeho napuštění tvrdidlem pro zvýšení jeho pevnosti před dalším použitím. [3][8]



Obr. 6.2: Schéma 3D Print [3]

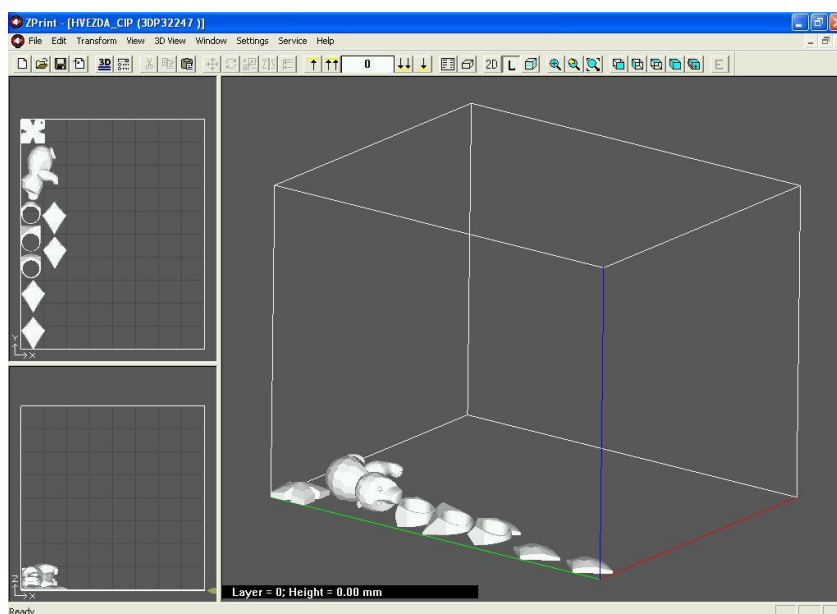
6.4.1 Výroba vzorků pomocí 3DP

Výroba vzorků metodou 3DP byla přidělena na katedru mechaniky pružnosti a pevnosti na TUL, kde vlastní stroj pro práškovou metodu RP. Vzorky byly předány ve formátu STL a vyrobeny na jednokomorovém stroji Zprinter 310 (obr. 6.3) od firmy SolidScape.



Obr. 6.3: Zprinter 310 [16]

Vzorky byly otevřeny a uspořádány k tisku v programu, který umožňuje komunikaci se strojem Zprinter 310. Vzorky byly vyráběny pro svoji malou velikost všechny najednou. Viz. obr. 6.4. Jedna z výhod byla rychlejší příprava dat, stačilo jen otevřít všechny vzorky v programu a poskládat vedle sebe. Po vytvoření vzorků byly vytvrzeny všechny najednou, to samozřejmě zkrátilo čas výroby. Kdyby byl vyráběn každý zvlášť, tak bylo by třeba čekat 60 minut, aby došlo k vytvrzení. To samé platí i u napouštění vzorků voskem.



Obr. 6.4: Uspořádání 3D modelů na tisk v technologii 3D Print

Příprava dat k odeslání na stroj činila 30 min a stavba modelu činila pouhých 44 minut, nicméně vzorky musely zůstat ještě 60 minut ve stroji, aby došlo ke ztuhnutí prášku s pojivem. Po očištění vzorků od přebytečného prášku byly vzorky namočeny do roztaveného vosku. Tento proces i s tuhnutím vosku trval přibližně 30 minut. Viz. tabulka 1

Tab. 1: Souhrn časů a cen při 3D Printingu

	Prsten	Sněhová vločka	Medvíďe
Celkový čas výroby	3 dny	3 dny	3 dny
Celková cena výroby	100 Kč	320 Kč	1 050 Kč
Hodnocení kvality fasetování	5	5	4-5
Hodnocení kvality materiálu	5	5	5

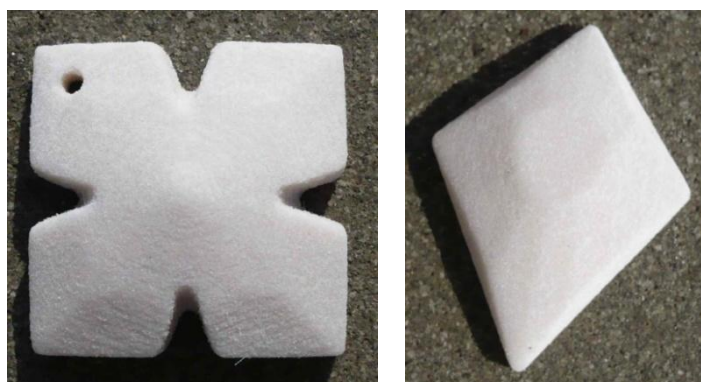
*hodnocení kvalit je odstupňováno od 1 (nejlepší) až 5 (nejhorší)

6.4.2 Zhodnocení metody 3D Print

U této metody se jedná o velmi rychlou výrobu jak jednoho kusu, tak i více kusů najednou. Při použití 3D Printingu nelze docílit transparentního materiálu, neboť žádný z výrobců práškového materiálu tento materiál nevyrábí. Vyrobené vzorky (obr. 6.5, obr. 6.6) měly špatný drolivý povrch a také u menších dílů nebylo vůbec žádné fasetování – to bylo trochu patrné jen u většího dílu, jako je model medvíděte (obr. 6.7).



Obr. 6.5: Prsten 1, 2, 3 vyroben metodou 3D Print



Obr. 6.6: Sněhová vločka vyrobená metodou 3D Print

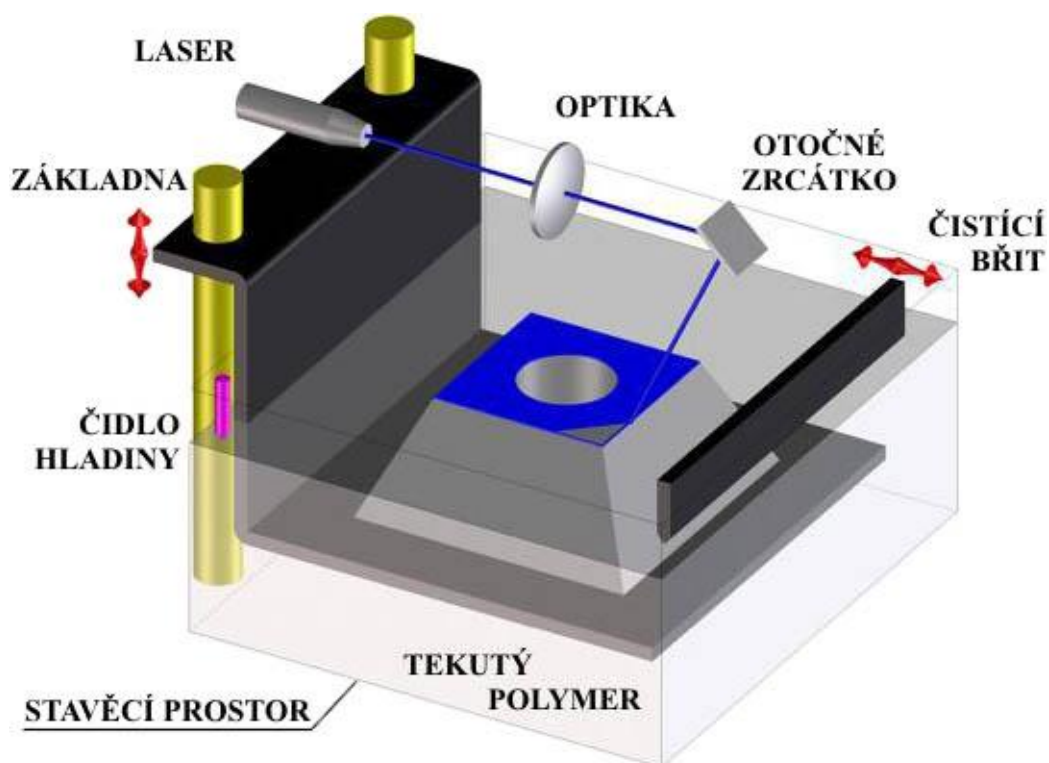


Obr. 6.7: Medvídě vyrobené metodou 3D Print

6.5 Stereolitografie

Při stereolitografii se jedná o vytvrzování vrstev tekutého polymeru. Jde o nejstarší metodu z technologií RP, která byla vyvinuta společností 3D Systems, Inc., a roku 1987 byla uvedena na trh. Součástí se vytváří postupným vytvrzováním polymeru (plastické hmoty citlivé na světlo) pomocí UV laseru, který je na základě dat přicházejících z počítače zaměřován složitou optickou soustavou na hladinu polymeru. [3][13]

Na základě dříve vytvořených informací o tvaru a rozměrech příčných řezů počítačového prostorového modelu jednotlivými rovinami (vrstvami) jsou vypočítány řídicí údaje, které vedou paprsek laseru pomocí XY skenovací hlavy nad horní plochou nádoby s polymerem. Součást je vytvrzena na nosné desce, která se na začátku procesu nachází přímo pod hladinou polymeru. Po vytvrzení (tj. po osvětlení) jedné vrstvy se nosná deska ponoří o tloušťku vrstvy hlouběji do lázně a začne se vytvářet další vrstva. Aby se vyrovnaly nepřesnosti vzniklé nanášením polymeru, je nutné před osvětlením každé vrstvy přejet hladinu tzv. stěračem. Vytvrzování tekutého polymeru po vrstvách a následným sejmutím z nosné desky vzniká model. Viz. obr. 6.8. [3][13]

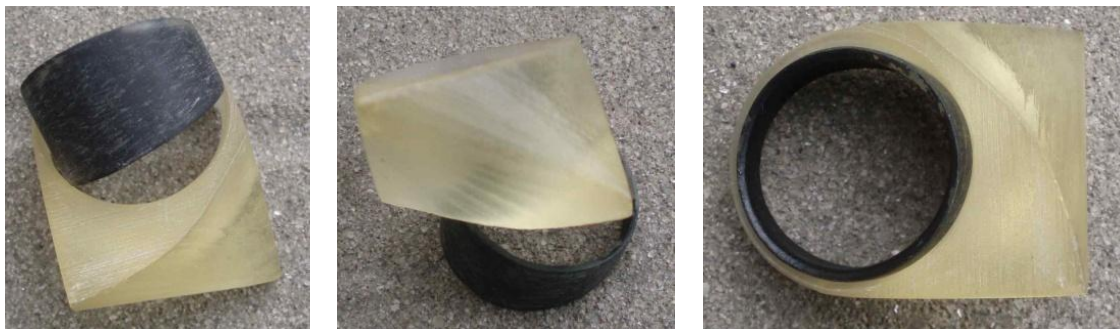


Obr. 6.8: Schéma Stereolitografie [3]

Tato metoda vyniká vysokou přesností a velkým množstvím použitelných materiálů. Oproti jiným technologiím je možno stereolitografií vytvářet modely s milimetrovými otvory a miniaturními prvky. Nevýhodou je především pomalý proces vytvrzování polymeru a u některých materiálů také malá tepelná odolnost vzniklého modelu. [13]

6.5.1 Výroba vzorků pomocí SLA

Touto metodou si nechala firma Preciosa s.r.o. vyrobit vzorek prstenu (obr. 6.9) ještě před začátkem této diplomové práce u externí firmy, ale výsledek nebyl dostačující. Proto byli ještě kontaktováni jiní výrobci, kteří používají na výrobu modelů technologii stereolitografie, aby se tato technologie vyzkoušela na výrobě jiných vzorků.



Obr. 6.9: Prsten 2 vyrobený metodou Stereolitografie

Kontaktovaní výrobci v České republice nebyli schopni zaručit jak fasetování s ostrými hranami, tak i průhlednost použitého materiálu. Proto se došlo k rozhodnutí přesunout výrobu vzorku do zahraničí. Byli tedy kontaktováni zahraniční výrobci v Německu, USA a ve Velké Británii (VB). Z dotázaných výrobců byli jen dva, kteří byli schopni splnit kladené požadavky. Výrobce z USA zaručoval použití transparentního materiálu, ten měl však horší optické vlastnosti než výrobce z VB, a hlavně nedokázal garantovat ostré hrany. Proto byla na výrobu medvíděte oslovena firma CRDM Ltd. se sídlem ve VB, která na výrobu použila materiál WaterClear Ultra 10122 a stroj IPro 8000 (obr. 6.10) od firmy 3D Systems.



Obr. 6.10: Stroj IPro 8000 [1]

6.5.2 Zhodnocení metody Stereolitografie

České firmy, které se specializují na SLA, by museli použít i ruční broušení a jiné úpravy, aby docílili požadovaného fasetování. Aby docílily transparentnosti, musely by zalít vzorek do silikonu a vytvořit odlitek. Tyto úpravy by se promítly do ceny, za kterou jsou schopny vzorek vyrobit. Cena za výrobu medvídky by se tedy pohybovala v řádech desetitisíců Kč.

Vzorek vyrobený ve VB (obr. 6.11) byl z transparentního materiálu, ale u viditelného fasetování byly zaoblené hrany. Celková doba dodání činila 20 dní, z toho samotná výroba a přeprava byla 7 dní. Vyřízení všech potřebných písemných náležitostí a uhrazení zakázky zabralo zbylých 13 dní.



Obr. 6.11: Medvídek vyrobené firmou CRDM Ltd.

Tab. 2: Souhrn časů a cen výroby vzorků

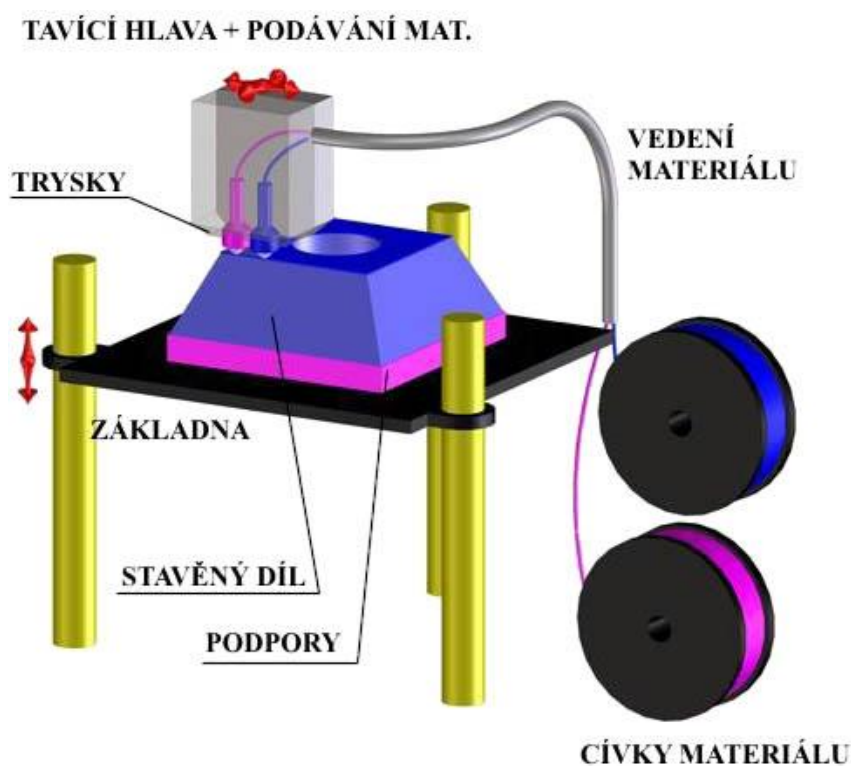
	Prsten	Sněhová vločka	Medvídě
Celkový čas výroby	3 dny	20 dny	20 dny
Celková cena výroby	1 000 Kč	5 640 Kč	7 600 Kč
Hodnocení kvality fasetování	4	2-3	2-3
Hodnocení kvality materiálu	3	2	2

*hodnocení kvalit je odstupňováno od 1 (nejlepší) až 5 (nejhorší)

6.6 Fused Deposition Modeling

Metoda FDM k výrobě modelů využívá nanášení vlákna z termoplastu a byla vyvinuta společností Stratasys, Inc. v roce 1988. Tato metoda používá jako modelovací materiál tenký drát, navinutý na kruhové cívce. Vzhledem k tomu, že model je stavěn na podložku do volného prostoru, je nutné vytvořit podpory. V části preprocessingu je načtený soubor STL dat zpracován do tenkých 2D řezů. Dalším krokem je vytvoření podpor v oblastech modelu, které nejsou při stavbě z vrstev samonosné. [3][8]

Vlastní proces stavby na FMD je velmi jednoduchý. Drát materiálu je kontinuálně dodáván do nanášecí hlavy, kde se ohřeje na tavicí teplotu. Po ohřátí je roztavený materiál protlačen přes tenkou trysku nanášecí hlavy, která ho pak na základě instrukcí počítače pozicuje v XY směru do vnitřní plochy 2D řezu. Materiál ihned při nanesení tuhne a připojí se k již vytvořené vrstvě. Systém používá průtlačnou hlavu, která je vybavena dvěma tryskami. Jedna tryska nanáší modelovací materiál a druhá nanáší materiál podpurný (obr. 6.12). Oba materiály jsou ve formě drátu a jsou nanášeny dle potřeby do obrysu řezu. Cílem je kontinuálně vyplnit vzorem 2D obrys a vytvořit tak souvislou vrstvu. Jakmile je vrstva dokončena, stůl sjede ve směru Z o jednu tloušťku vrstvy dolů a proces se opakuje. [3][8]



Obr. 6.12: Schéma FMD [3]

Po dokončení modelu je nutné odstranit podpůrný materiál (podpěry). Existují dva způsoby odstranění podle použitého materiálu podpor. První je systém BASS, oba materiály (jak podpůrný tak i modelovací) nepřiléhají těsně k sobě a tak se mohou snadno po dokončení stavby modelu oddělit. Tento způsob je ale zastaralý a někdy bývá problém podpěry oddělit a také na hotovém modelu zůstávají zbytky podpůrného materiálu. Novým způsobem k odstranění podpor je systém WaterWork. Podpora je vytvořena z materiálu, který se působením vodního roztoku rozpustí. Celý proces může být navíc doprovázen působením ultrazvuku. Tento způsob je daleko rychlejší a snadnější než způsob Bass. [3][8]

6.6.1 Výroba vzorků pomocí FDM

I u této technologie RP je postup přípravy dat stejný jako u 3DP a SLA. Vzorek v datovém formátu STL je otevřen v softwaru, jenž je součástí stroje Dimension SST 768 (obr. 6.13). Zde se vzorek vhodně napoložuje, nastaví tloušťka vrstvení materiálu a také se vygenerují podpory. Poté se upravená data odeslala na stroj, kde už probíhá proces samotného stavění figurky (obr. 6.14).



Obr. 6.13: Dimension SST 768



Obr. 6.14: Rozestavěný a postavený vzorek medvídky s viditelnými podpěrami

Po vyjmutí postavené figurky (obr. 6.14) bylo nutné odstranit podpory. V našem případě byly podpory z materiálu, který je rozpustitelný ve vodním roztoku. Při odstranění podpor (obr. 6.15) na vzorek nepůsobí ultrazvuk, ale vodní roztok byl ohřán na teplotu 70°C a pomocí čerpadla dochází k cirkulaci roztoku a tím ke snadnějšímu rozpadu materiálu podpor.



Obr. 6.15: Rozpouštění podpor

6.6.2 Zhodnocení metody FDM

Tato metoda stejně jako předešlé metody RP se vyznačují rychlou přípravou dat a také rychlou výrobou vzorku. Jako všechny předešlé metody RP není schopna vyhovět požadavkům, které byly kladeny na vzorky. Při FDM není možno použít transparentního materiálu, protože ABS plast pro tento druh technologie tuto vlastnost postrádá. U vyrobených vzorků byly fasety viditelné, ale na povrchu vzorků bylo hodně patrné použité vzorkování i při nejmenším možném řádkování (obr. 6.16).



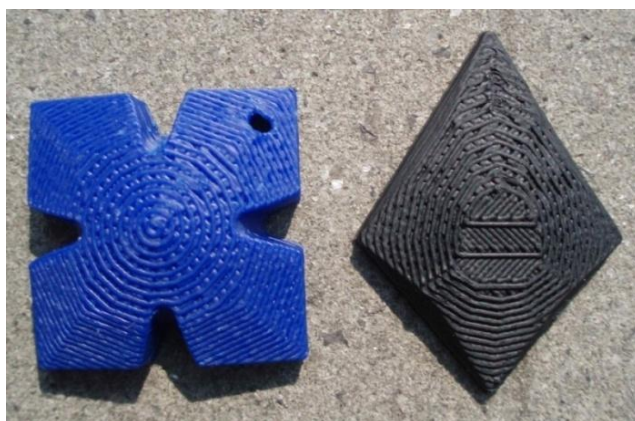
Obr. 6.16: Vyrobený vzorek metodou FDM

Tab. 3: Hodnocení FDM

	Prsten	Sněhová vločka	Medvídě
Celkový čas výroby	3 dny	3 dny	3 dny
Celková cena výroby	654 Kč	804 Kč	1 745 Kč
Hodnocení kvality fasetování	5	5	4-5
Hodnocení kvality materiálu	5	5	5

*hodnocení kvalit je odstupňováno od 1 (nejlepší) až 5 (nejhorší)

U výroby sněhové vločky byl použit barevný ABS materiál z důvodu zvýraznění fasetování, protože na bílém povrchu toto fasetování není dobře viditelné. Pomocí barevného materiálu však nedošlo k lepšímu zviditelnění fasetování, ba naopak byly více patrné nedostatky (obr. 6.17).



Obr. 6.17: Sněhová vločka vyrobená metodou FDM

7 Technologie 5 osého obrábění

Koncem roku 2006 bylo na Katedře výrobních systémů pořízeno moderní víceprofesní soustružnicko-frézovací obráběcí centrum Mazak Integrex 100-IV (obr. 7.1). Jedná se o 5 osé rotační obráběcí centrum, umožňující velmi přesnou výrobu i tvarově složitých součástí převážně z rotačních polotovarů již v základním provedení, bez použití speciálních přípravků. Velká část soustružených obrobků vyžaduje mimo soustružení ještě řadu dalších přídavných operací jako frézování, mimo-osé vrtání a řezání závitů. Při běžném způsobu obrábění bylo nutno soustružený obrobek ze soustruhu přenést na další frézku, vrtačku či obráběcí centrum a tam dokončit požadované technologické operace, s použitím tohoto centra lze mimo jiné toto obrobit na jedno upnutí polotovaru. [11][12]



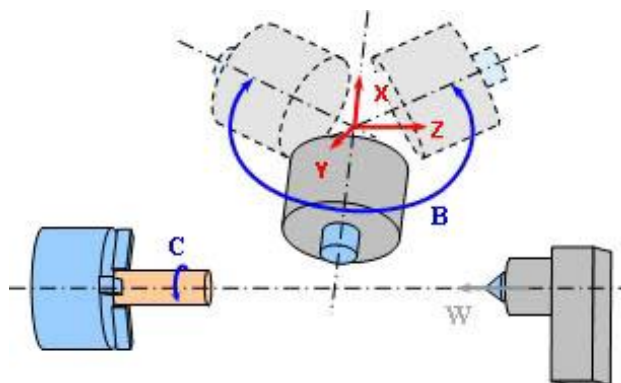
Obr. 7.1: Obráběcí centrum Mazak Integrex 100-IV

7.1 Základní parametry centra Integrex 100-IV

Základní parametry obráběcího centra [12]:

- | | |
|-------------------------------------|--------------------------|
| • Velikost hlavního sklíčidla | 152,4 mm |
| • Max. obráběný průměr (osa X) | 545 mm |
| • Max. délka (pojezd Z) | 570 mm |
| • Příčný posuv (osa Y) | ±70 mm |
| • Natočení nástrojové hlavy (osa B) | -30° / +195 ° |
| • Otáčky hlavního vřetene | 6 000 min ⁻¹ |
| • Otáčky nástroje | 12 000 min ⁻¹ |
| • Počet nástrojů v zásobníku | 20 |

Kinematické schéma stroje viz. obr. 7.2



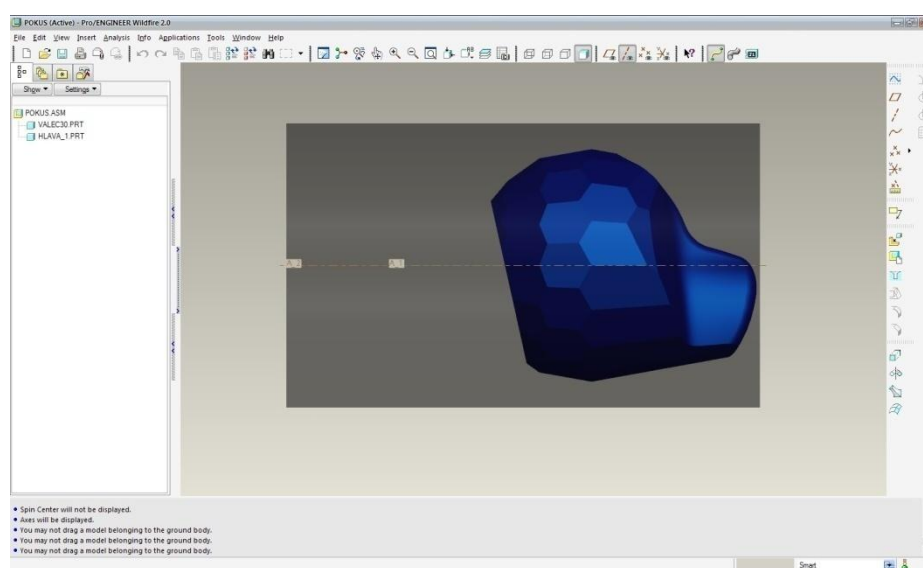
Obr. 7.2: Kinematické schéma stroje [12]

7.2 Příprava dat

Vzorky od firmy Preciosa s.r.o. byly dodány v datovém formátu step. Formát STP je universální formát a jde otevřít v každém systému CAD umožňující pracovat s 3D daty. Problém bylo, že při otevření souboru STP chyběl souřadný systém spojený s modelem. Tato chyba může nastat při nevhodném uložení dat do formátu step a další možností je, že při tvorbě modelu konstruktér zvolil jiné umístění pro souřadný systém než přímo na model samotný.

Vhodně umístěný souřadný systém umožňuje lepší ustavení a polohování modelu v programu EdgeCam, který se používá na tvorbu drah nástroje. Proto bylo nejprve nutné upravit model v programu ProEngineer. Ve 3D modelu bylo potřeba vytvořit pomocné roviny a ustavit model do osy válce, který simuloval použitý polotovár (obr. 7.3).

Na výrobu vzorků byla použita tyč kruhového průřezu o $\varnothing 40$ mm z materiálu BC - 800 UV Transmitting Acrylic. Tento materiál se vyznačuje svojí dokonalou transparentností a vynikající leštitelností. Většinou se BC – 800 UV používá k přenosu světelného záření a v našem případě může zaručit věrohodné napodobení křišťálu.



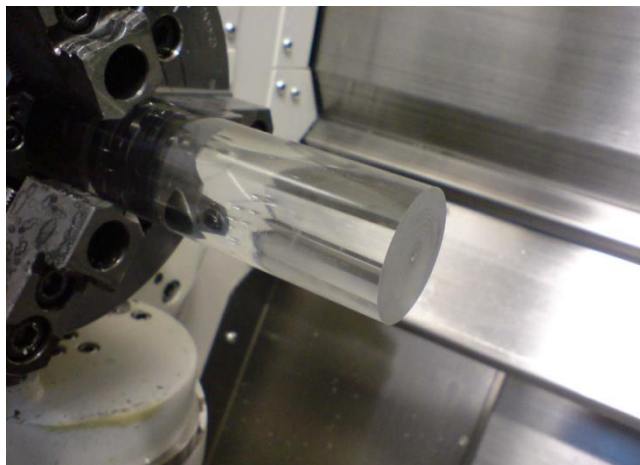
Obr. 7.3: Umístění hlavy do osy polotovaru

7.3 EdgeCam

EdgeCAM je předním CAM řešením nejen v oblasti produkčního obrábění. Aplikace nabízí prizmatické a tvarové frézování, 4 až 5 osé indexované/plynulé frézování, komplexní víceosé soustružení, soustružení s podporou frézování a další možnosti pro komplexní obrábění dílců. Díky přímé návaznosti CAD/CAM systému dokáže EdgeCam pracovat s daty ze všech předních CAD systémů, a to bez použití převodu. Tato schopnost garantuje bezproblémové načtení dat a umožňuje využít inteligence 3D objemových modelů. [2][14]

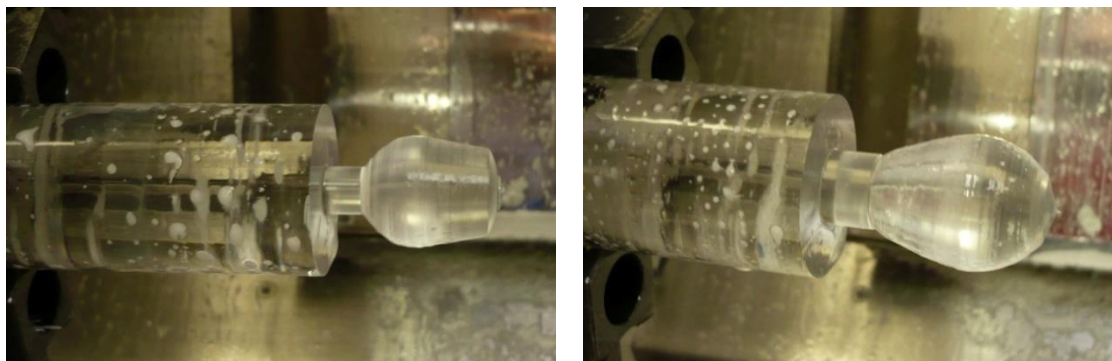
7.4 Samotné obrábění

Po spojení 3D modelu s modelem polotovaru bylo možno 3D model otevřít v programu EdgeCam. V první řadě bylo nutné umístit osu polotovaru do osy sklíčidla tak jak bude skutečný polotovar ve sklíčidle upnut (obr. 7.4). Na začátku tvorby drah nástroje bylo třeba nastavit nulový bod, který slouží jako záchytný bod při programování. Tento nulový bod byl umístěn na čelo polotovaru a do osy polotovaru.



Obr. 7.4: Upevnění polotovaru

Na začátku obrábění bylo potřeba zarovnat čelo polotovaru pomocí pravého soustružnického nože. Po zarovnání čela následovalo odebrání přebytečného materiálu z $\varnothing 40$ mm pro tělo, hlavu (obr. 7.5) a pro nohy (obr. 7.6) byl použit polotovar o $\varnothing 25$ mm. K tomuto účelu bylo použito soustružnického nože a klasickým podélným hrubováním byl odebrán materiál, tak aby se nedostalo pod úroveň vyráběného modelu medvíďete. Touto operací byla opuštěna oblast soustružení a bylo nutné použít frézování.

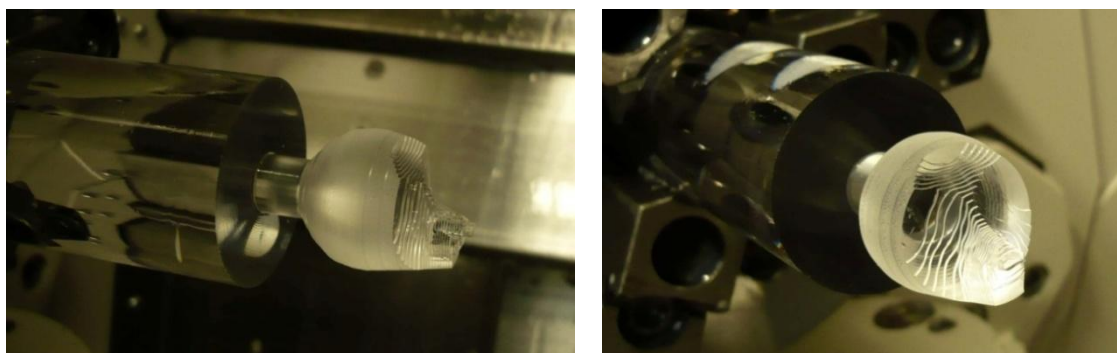


Obr. 7.5: Soustružení hlavy a těla medvíďete



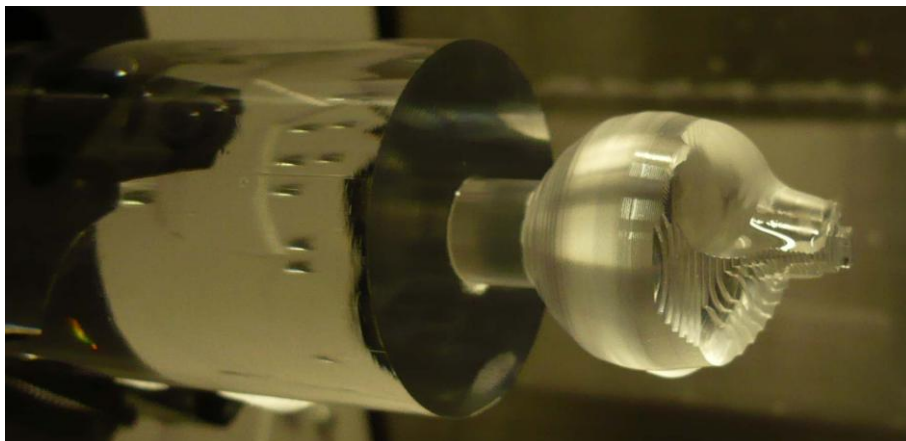
Obr. 7.6: Soustružení nohy medvíděte

V oblasti přední strany hlavy bylo stále mnoho přebytečného materiálu, které nebylo možno odebrat pomocí soustružení. Proto se pomocí frézy $\varnothing 10$ mm hrubovalo (obr. 7.7) a to s přídávkem 0,2 mm, díky velkému průměru frézy a větším krokování se značně snížil čas výroby. Kdyby se na toto hrubování bylo použito kulové frézy $\varnothing 3$ mm s větší roztečí drah a úběrem materiálu, tak je tomu u hrubování, hrozilo by zničení nástroje.

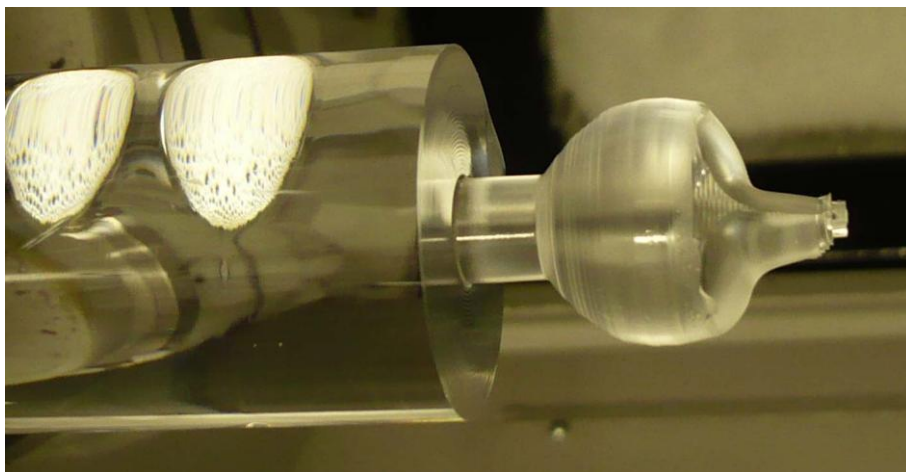


Obr. 7.7: Hrubování přední části hlavy

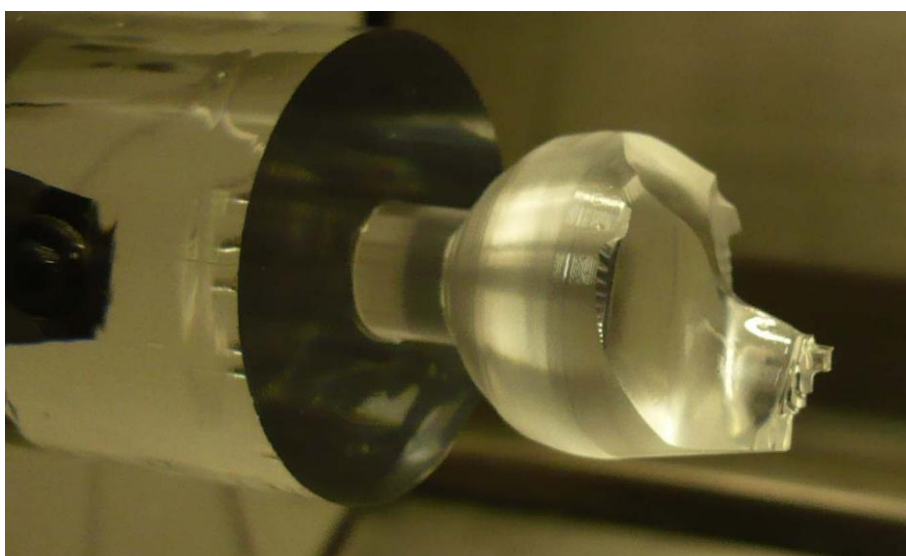
Poté bylo hlavu medvíděte nutno obrábět ve čtyřech krocích z důvodu omezeného rozsahu stroje a také z důvodu složitosti obráběných ploch. Hlava byla rozdělena na čtyři části a to na levou (obr. 7.8), pravou (obr. 7.9) část hlavy a prostřední díl “nos” byl rozdělen na dvě části (obr. 7.10, obr. 7.11). Jinak by nebylo docíleno požadované kvality povrchu a docházelo by k podřezání modelu.



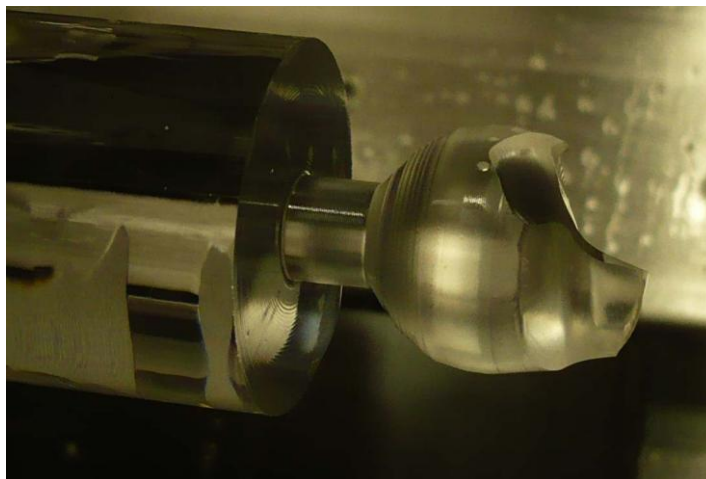
Obr. 7.8: 5 osé obrobení pravé části hlavy



Obr. 7.9: 5 osé obrobení levé části hlavy

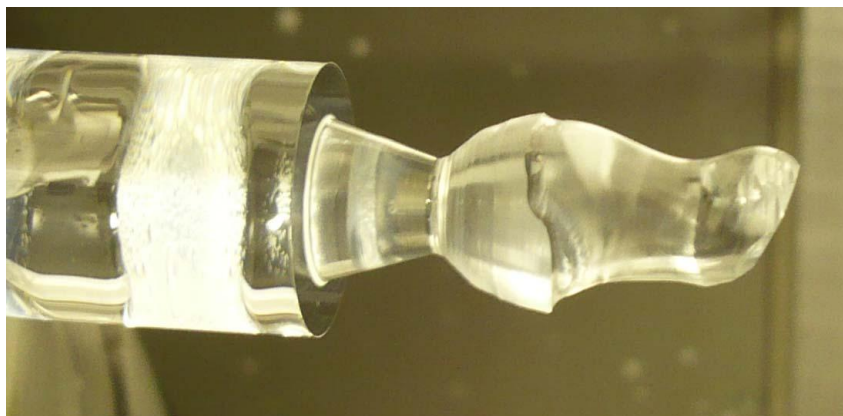


Obr. 7.10: 5 osé obrobení horní části nosu



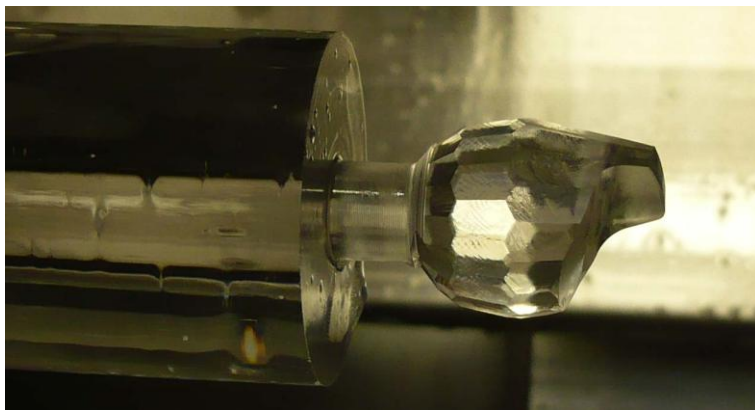
Obr. 7.11: 5 osé obrobení spodní části nosu

Poslední díly figurky (levá a pravá noha) nebylo potřeba dělit a tak byla obecná plocha vyráběna najednou (obr. 7.12). Problém nastal jen v místě tlapy, kde jsou u skutečného modelu drápy, které nebylo možno vyrobit. Důvodem nebyla složitost obráběné obecné plochy, ale její rozměry. Tyto drážky by nešlo obrobit ani použitím kulové frézy o $\varnothing 1$ mm, a tak bylo od obrábění těchto malých ploch upuštěno.

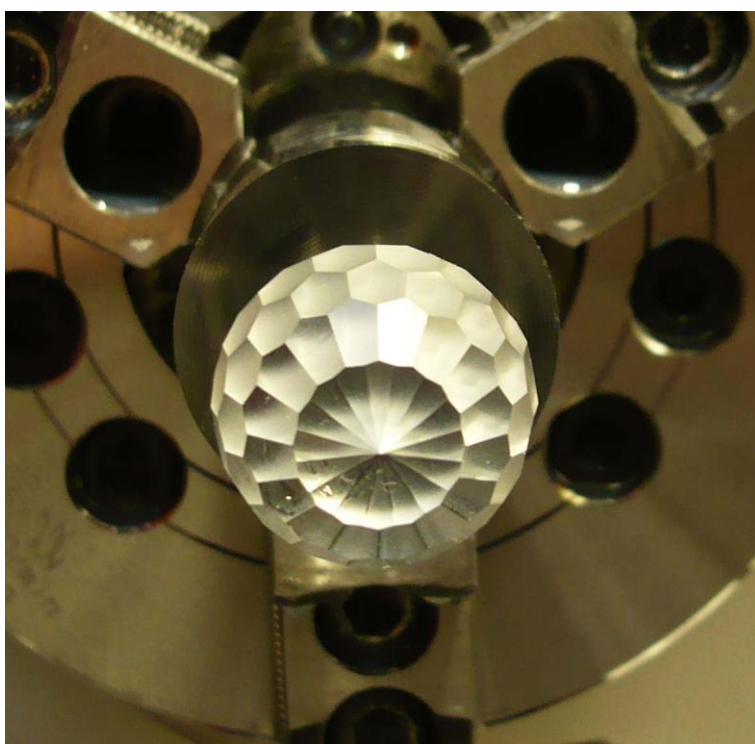


Obr. 7.12: 5 osé obrobení nohy

Při obrábění fasetování bylo důležité, aby na povrchu modelu nevznikaly dráhy nástroje. K tomu účelu byla použita fréza o $\varnothing 10$ mm, která měla dostatečný průměr, a nebylo tak nutné fasety přejíždět nástrojem vícekrát. Pro obrábění faset byla použita funkce drážka a díky tomu, že fasetování bylo po celém obvodu symetrické (obr. 7.13, obr. 7.14), bylo možno naprogramovanou drážku opakovat n -krát vždy otočenou o požadovaný úhel ($22,5^\circ$). Pro tento účel bylo nezbytné mít model ustavený v ose polotovaru.

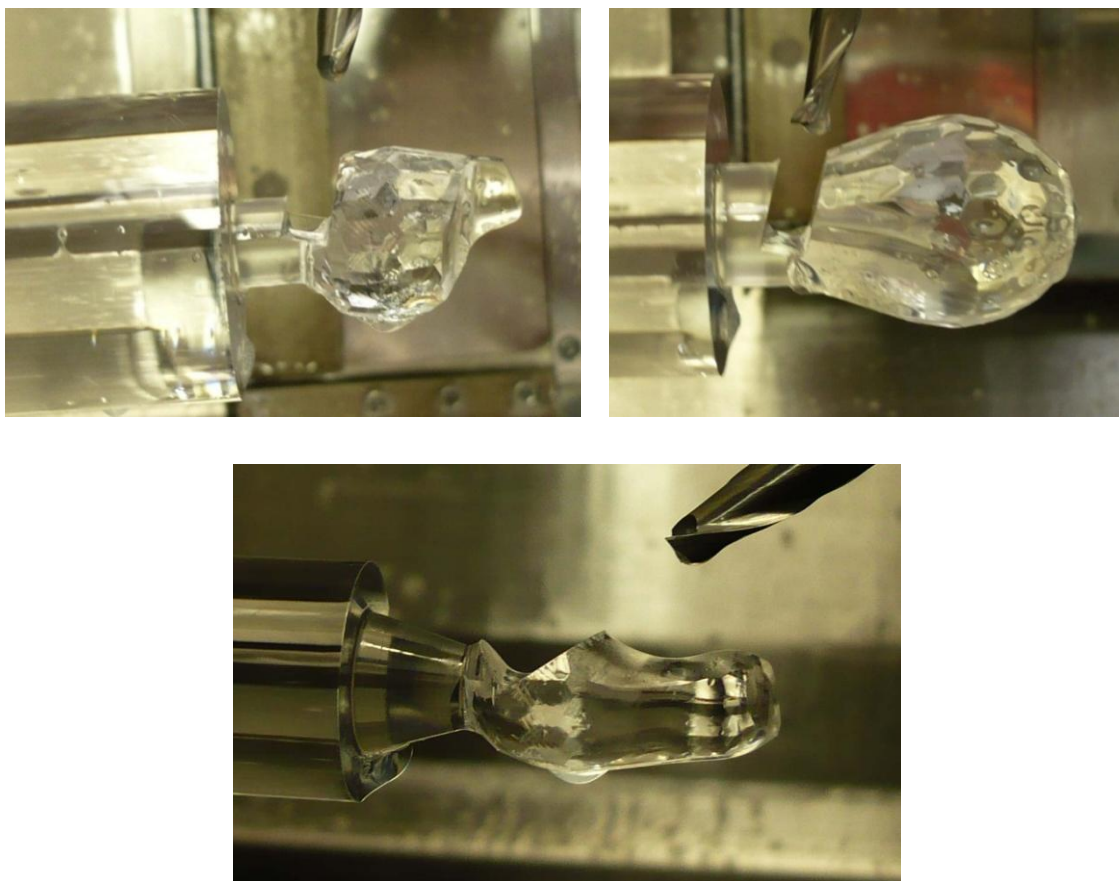


Obr. 7.13: Fasetování hlavy



Obr. 7.14: Fasetování těla

Po konečném obrobení modelu bylo nezbytné odstranit model od polotovaru (obr. 7.15). K tomuto účelu byla použita fréza o $\varnothing 6$ mm. Soustružnický upichovací nůž nemohl být použit, protože rovina řezu nebyla pod úhlem 90° k ose polotovaru. Fréza s menším průměrem byla použita jen proto, aby nebylo potřeba větší části polotovaru, za který ještě polotovar držel při obrábění.



Obr. 7.15: Odstranění modelu od polotovaru

7.5 Zhodnocení 5 osého obrábění

Tato metoda splňuje všechny požadavky (obr. 7.16, obr. 7.17, obr. 7.18), i když na povrchu jsou patrné stopy nástroje. Největší problém u této metody je zpracování dodaných dat, především pak náročná tvorba drah nástroje. Tvorba nástrojových drah tvoří asi 2 třetiny výrobního času vzorku. Pak je tu omezení \varnothing polotovaru, které je možno upnout do sklíčidla.

K velkému omezení také patří obrábění dutin a vytvoření ostrých vnitřních hran. Řešit tento problém je možno použitím speciálního nástroje, avšak to je také problém. Především je-li zapotřebí obrobit rozměrově malou plošku. Je tedy nutné použít nástroj, který má malé rozměry ale vysokou cenu. Je tu riziko, že se zničí jak nástroj, tak se může poškodit i obráběná plocha.



Obr. 7.16: Prsteny zhotovené 5 osým obráběním



Obr. 7.17: Části medvídky vyrobené pomocí 5 osého obrábění



Obr. 7.18: Spleené díly vyrobené pomocí 5 osého obrábění

Tab. 4: Hodnocení 5 osého obrábění

	Prsten	Sněhová vločka	Medvídě
Celkový čas výroby	3 dny	5 dny	8 dny
Celková cena výroby	9 126 Kč	14 292 Kč	34 100 Kč
Hodnocení kvality fasetování	1-2	1	1-2
Hodnocení kvality materiálu	1-2	1-2	1-2

*hodnocení kvalit je odstupňováno od 1 (nejlepší) až 5 (nejhorší)

Sněhová vločka byla poslední vzorek, který byl obráběn. U tohoto vzorku bylo použito odebírání materiálu po menších hloubkách, a proto na povrchu nejsou patrné stopy nástroje (obr. 7.19). Tento vzorek měl také jednoduchý tvar, který bylo snadné dodatečně brousit a tím odstranit matného vzhledu.



Obr. 7.19: Sněhová vločka vyrobená 5 osým obráběním

8 Odlévání do silikonové hmoty

Původní myšlenkou bylo vytvořit model metodou RP a poté tento model použít jako vzor k odlévání. Odpadl by tedy problém s hledáním technologie RP, která je k výrobě modelu schopná použít transparentní materiál. Po zhotovení vzorků technologií 3D Print a FDM bylo jasné, že takto vyrobený vzorek nelze použít k odlévání, jelikož je k této technologii potřeba dokonalý model, sloužící jako vzor pro zalití do silikonu. Silikonová hmota, která po vytvrzení tvoří formu, dokonale kopíruje tvar a povrch předmětu, který je zalit. Možností by bylo vyrobené vzorky ještě upravit. Model by bylo potřeba přebušovat, aby bylo docíleno fasetování a také aby byly odstraněny stopy po vrstvení materiálu. Broušením a dalšími úpravami by se změnila rozměry a také vzhled vzorku. Proto bylo nutné najít jinou variantu vzoru k zalití. K dispozici byly dvě varianty řešení.

První variantou bylo použít vzorek vyrobený technologií 5 osého obrábění. Tento vzorek už měl dokonalé fasetování, avšak na povrchu vzorku byly patrné stopy nástroje především v přední oblasti hlavy, kde jsou obecné plochy (obr. 8.1). Při zalití takto vyrobeného vzoru by se docílilo vzorku, který by na sobě měl stejné vrypy jako při obrábění, a nedošlo by tak ke zlepšení.



Obr. 8.1: Viditelné stopy nástroje

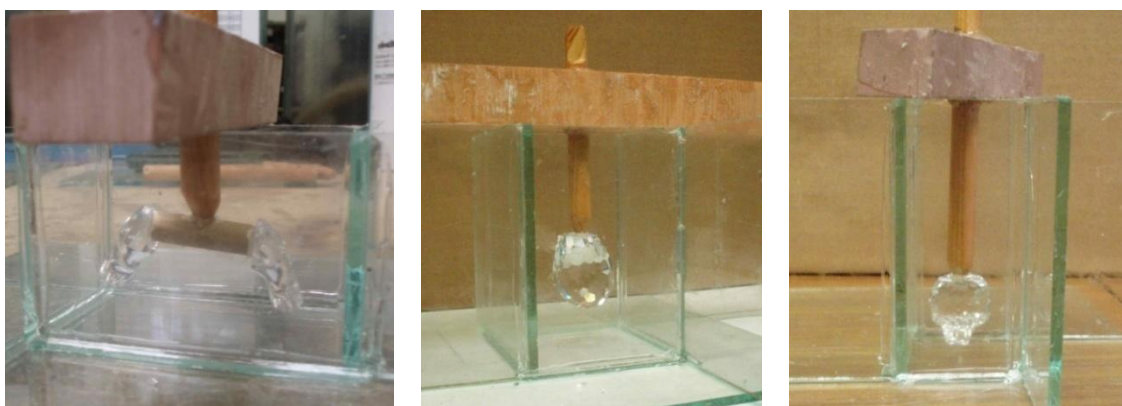
Další a vhodnější variantou bylo použití již hotového křišťálového vzorku. Rozebraný model medvíděte byl poskytnut firmou Preciosa s.r.o. (obr. 8.2) V praxi by toto však nebylo možné, neboť ve fázi prototypu není vytvořen žádný křišťálový vzorek. K tomuto kroku bylo přistoupeno jen z důvodu vyzkoušení této technologie, jinak by bylo potřeba použít vzorek vyrobený jednou z předchozích technologií.



Obr. 8.2: Rozebraný skleněný model

8.1 Vytvoření formy

Formy byly vytvořeny pomocí skleněných destiček, jejichž průhlednost byla výhodou při kontrole umístění vzoru a také správného zatečení silikonu. Na vzory v místě plošek určených k slepení modelu byly umístěny dřevěné tyčinky, které sloužily k zavěšení, především však simulovaly budoucí vtokovou soustavu (obr. 8.3).



Obr. 8.3: Umístění vtokových soustav

Po umístění vzorků do forem byla potřeba namíchat silikonovou hmotu – použit byl Silastic T-4 od firmy Ebalta. Pro zalití všech těchto vzorů bylo potřeba 545g silikonu a obě složky Silastic T-4 byly smíchány v daném poměru při pokojové teplotě. Po smíchání směsi byla nádoba umístěna do vakuové komory, aby došlo k odstranění vzduchových bublin. Během vakuování směs nabyla až 5 ti násobek svého výchozího stavu a při odvakuování bublinky popraskaly a objem se srazil na původní hodnotu. Poté byla směs zcela bez bublinek vzduchu a připravená k lití. Silikon byl nalit do forem (obr. 8.4) a při teplotě 22 – 24 °C po dobu 18 – 24 hodin došlo k vytvrzení hmoty.



Obr. 8.4: Postupné zaplnění formy silikonovou hmotou

Po vytvrdnutí silikonové formy nastává nejdůležitější fáze celého odlívání. Musí se vhodně zvolit dělicí rovina, tak aby nebyla na povrchu odlitku patrná a nenarušovala výsledný vzhled odlitku. V našem případě bylo rozhodování velice složité, neboť nejlepší místo na dělicí rovinu bylo v místě, kde dojde ke slepení dílčích dílů figurky, avšak díly by pro svou složitost nebylo možné po odlití vyjmout anebo jen obtížně. Z tohoto důvodu byla dělicí rovina umístěna v místě, kde nebude tak patrná na odlitku a odlitek půjde dobře vyjmout z formy.



Obr. 8.5: Rozdělení silikonových forem

Pomocí skalpelu a speciálních kleští byla forma rozdělena (obr. 8.5). Po rozdělení forem bylo možné vyjmout všechny skleněné vzorky, které byly použity jako vzor (obr. 8.6). V dalším kroku bylo nutné vytvořit průduchy ve formě, aby došlo k dokonalému zatečení do všech částí formy a v modelu nebyly vzduchové bubliny. Pro tento účel byla použita speciálně upravená injekční jehla.



Obr. 8.6: Rozdělená forma na odlévání medvědíh nohou

Po vytvoření průduchů a vyjmutí vzorů se oba díly formy k sobě opět přiložily a spojily pomocí sponek. Do místa vtoku byl umístěn trychtýř, pomocí kterého dojde ke snadnému nalití pryskyřice do formy.

8.2 Samotné odlévání

Takto zhotovenou formu bylo nutné umístit do pece, protože dle návodu musí být forma předehřátá na 70 °C. Na vytvoření vzorku byla použita dvousložková nízkoviskózní pryskyřice PX 521 HT od firmy Axson. Tato pryskyřice má pro naše účely vynikající vlastnosti jako je vysoká transparentnost, snadná probarvitelnost a leštitelnost. Obě složky pryskyřice se míchají v poměru 100/55 za pokojové teploty. Pro vytvoření 4 vzorků bylo potřeba 90g již namíchané pryskyřice. Obě složky byly společně s formou vloženy do vakuové komory. Složky je potřeba minimálně 5-10 min vakuovat, aby byly odstraněny vzduchové bubliny. Pomocí mechanismu uvnitř vakuové komory byly složky smíchny (obr. 8.7) a po dobu 4 minut při teplotě 20°C míchány.



Obr. 8.7: Smíchání obou složek pryskyřice a nalití směsi do formy

Po uplynutí 4 minut se též pomocí mechanismu pryskyřice nalila do formy (obr. 8.7). Forma byla stále ve vakuové komoře, aby bylo docíleno snazšího vtečení do formy a nevznikaly uvnitř modelu vzduchové bublinky. Poté, co došlo ke zgelovatění pryskyřice, byl trychtýř odstraněn a po dobu 120 min byly formy při teplotě 70°C temperovány. Po vytvrzení pryskyřice bylo možné formy rozebrat a vyjmout hotové díly.

Jednou z výhod této pryskyřice je možnost jejího snadného obarvení, proto byla směs pro dva díly obarvena. Množstvím barviva lze docílit rozdílných odstínů barev. Pro docílení velmi syté barvy těla bylo použito většího množství modrého barviva, pro nohy bylo použito jen malé množství žlutého barviva – bylo tak docíleno slabého odstínu. Hlava zůstala v čisté podobě, aby výsledný vzorek byl čirý.

U této metody je také třeba dalšího opracování odlitku. Na odlitku po odlití zůstává vtoková soustava a také stopy po průduchu (obr. 8.8). Pro odstranění těchto nedostatků je nutné vtokovou soustavu odřezat a poté povrch přebrousit.



Obr. 8.8: Hotové díly před odstraněním vtoků

8.3 Zhodnocení odlévání do silikonové formy

Vzorky zhotovené touto technologií mají velmi dobrou kvalitu (obr. 8.9, obr. 8.10), především díky použitému vzoru. Tato metoda se dá použít jako metoda doplňková, která by plnila funkci výroby transparentního vzorku ze vzorku netransparentního. Dále je tu i možnost výroby více kusů z jedné formy, protože z jedné formy lze zhotovit až dvacet kusů. Celkový čas výroby uvedený v tabulce 6 je čas na výrobu odlitku, v případě prstenu je zde uveden i čas a cena výroby vzoru.



Obr. 8.9: Části medvíděte vyrobené odléváním



Obr. 8.10: Spleené části medvíděte vyrobené odléváním

U odlévání prstenu bylo nejprve potřeba vyrobit vzor potřebný k vytvoření formy. V tomto případě bylo vhodné použít prsten vyrobený z hliníku (obr. 8.11) technologií 5 osého obrábění. U prstenu nebyla žádná obecná plocha, kde by byly patrné stopy po nástroji. V tabulce 5 jsou uvedeny ceny a také čas výroby hliníkového prstenu a odlitku (obr. 8.12).



Obr. 8.11: Prsten z hliníku vyrobený 5 osým obráběním

Tab. 5: Odlévání prstenu

	Kovový model	Transparentní vzorek	Celkem
Čas výroby	3 dny	3 dny	6 dnů
Cena výroby	9 126 Kč	1 879 Kč	11 005 Kč



Obr. 8.12: Prsten před a po odstranění vtokové soustavy

Tab. 6: Zhodnocení odlévání

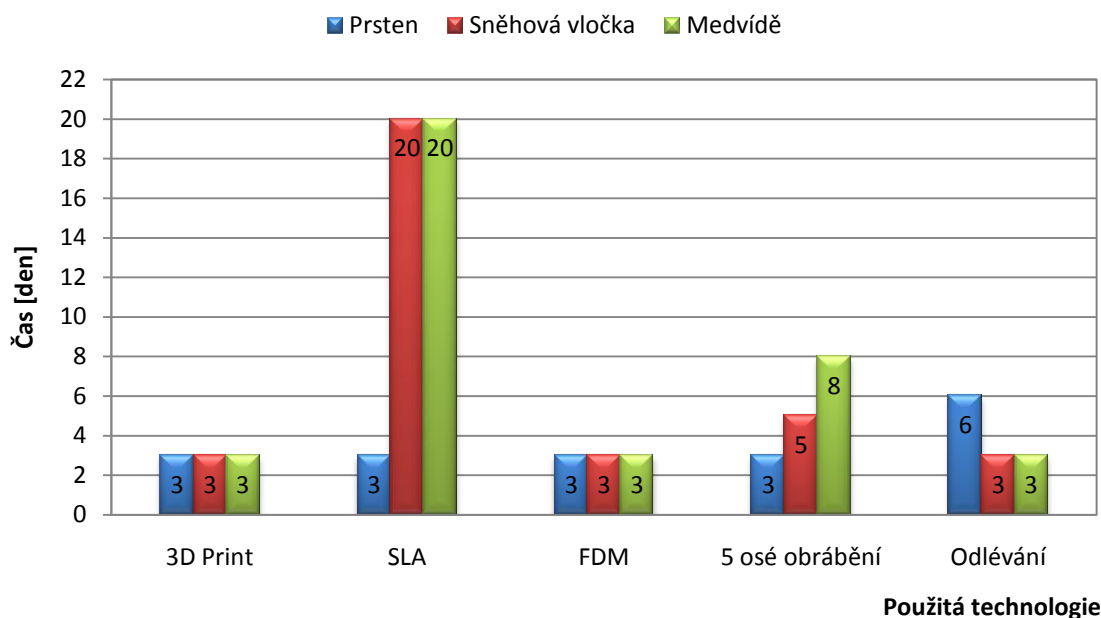
	Prsten	Sněhová vločka	Medvídě
Celkový čas výroby	6 dny	3 dny	3 dny
Celková cena výroby	11 005 Kč	3 290 Kč	4 259 Kč
Hodnocení kvality fasetování	1-2	1-2	1-2
Hodnocení kvality materiálu	1-2	1-2	1-2

*hodnocení kvalit je odstupňováno od 1 (nejlepší) až 5 (nejhorší)

9 Celkové zhodnocení

V této kapitole je uvedeno celkové zhodnocení výroby vzorků. V případě sady prstenů je zde uveden pouze jeden prsten a to z důvodu přehlednosti výsledků, neboť by se jednalo o tři velmi podobné hodnoty.

Technologie jsou řazeny v grafech chronologicky tak, jak byly postupně použity pro výrobu jednotlivých vzorků. V grafu 1 je zobrazena časová osa výroby vzorků, ve které je společně s výrobou započtena i doba dopravy vzorku. Z časového hlediska jsou technologie vyrovnané (okolo třech dnů), výchylinky nastávají u stereolitografie, 5 osého obrábění a u odlévání prstenu. Výroba prstenu odléváním je svázána s obráběním, proto je tu časová prodleva.



Graf 1: Celkový čas výroby

U technologie SLA došlo k největšímu nárůstu času, a to z důvodu výroby mimo území ČR. Nejdříve bylo nutné s firmou CRDM Ltd. dohodnout jak by měl výsledný model vypadat a jaké by měl mít parametry. Poté byla předložena faktura, kterou bylo nutné uhradit, ještě než započala samotná výroba. Tyto formality před výrobou si vyžádaly řádově několik dní, které jsou započítány do celkové doby výroby. Vzorek vyrobený firmou CRDM Ltd. byl povrchově upravován a to se také promítlo do výrobního času. Po vyrobení dílu trvala přeprava vzorku na území ČR pouhé dva dny.

Delší čas vyžaduje také technologie 5 osého obrábění. V tomto případě se jednalo o část přípravy dat. U medvíděte bylo nutné připravit dráhy nástroje pro čtyři zcela rozdílné části. U sněhové vločky se jednalo o pět částí, ale díl lístek bylo možné třikrát opakovat a tím také zkrátit výrobní čas.

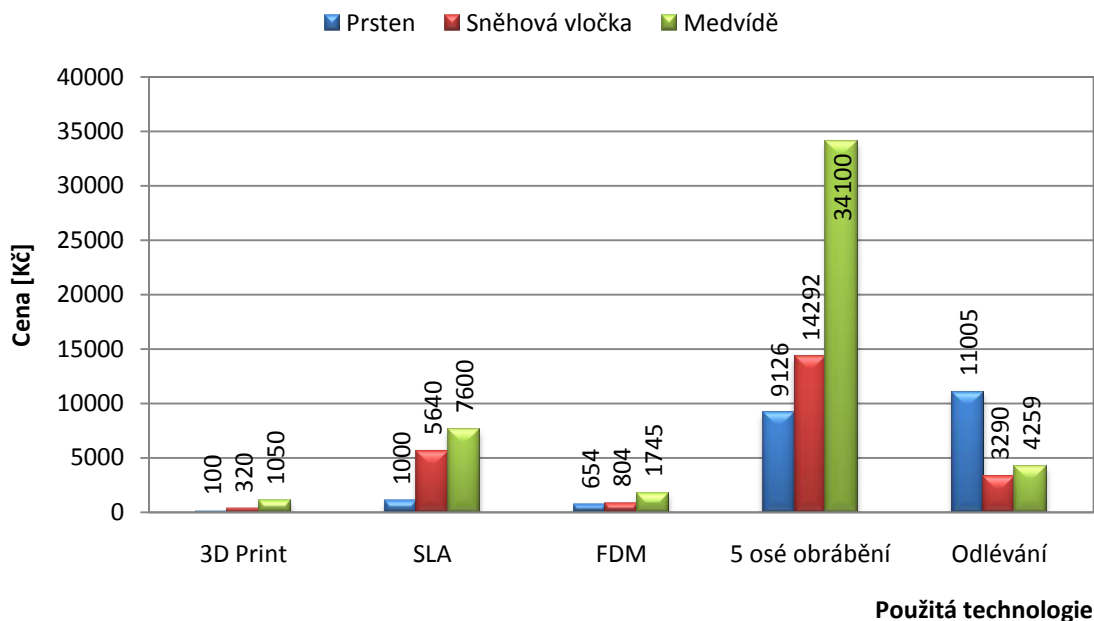
U těchto technologií je možné zkrátit vedlejší časy. V případě SLA by stačilo být častým zákazníkem firmy CRDM Ltd. a už by nebylo nutné zdlouhavého jednání ohledně vzhledu vzorků, protože další kusy by měly mít stejné vlastnosti jako ty předchozí. Při častém objednávání a bezproblémové hrazení zakázek by nebylo nutné uhradit částku již před samotnou výrobou. Tuto záležitost by bylo možné vyřizovat souběžně s výrobou.

U 5 osého obrábění je možné zkrátit čas přípravy výroby. Podobně jako u SLA by se toto dalo vyřešit větším množstvím zakázek. Vzorky jsou si v jistém směru podobné a tak by se dalo předejít chybám, které bylo potřeba řešit při výrobě prvních vzorků. Například u výroby sněhové vločky nejsou patrné stopy nástroje a to díky tomu, že byla vyráběna jako poslední. Po zkušenostech z výroby medvíděte bylo použito menšího úběru materiálu po více krocích a tím vznikl hladší povrch.

V grafu 2 jsou zobrazeny cenové kalkulace výroby vzorků za použití jednotlivých technologií. V tomto případě jsou již patrné velké rozdíly. Jednoznačně lze 5 osé obrábění označit za nejdražší technologii, která byla na výrobu vzorků použita. Stejně jako v prvním případě dojde se snížením vedlejších časů i k rapidnímu snížení nákladů na výrobu.

Jak teoreticky tak i prakticky patří RP k nejlevnějším technologiím, které byly na výrobu použity. A to i v případě SLA kde v ceně zakázky jsou započítány poplatky spojené s výrobou v zahraničí. U výroby SLA byly vedle odstranění podpor vykonány také doplňkové operace. Firma CRDM Ltd. ještě upravovala povrch vzorku, aby docílila požadovaného vzhledu. Tyto operace byly započítány do zakázky, cena za dokončovací operace činila 4 800 Kč z celkové ceny 7 600Kč. Bez těchto úprav by cena zakázky byla stejná jako u FDM a 3DP, kde se úpravy vzorků neprováděly.

V grafu 2 je u vločky a medvěda uvedena cena pouze za odlévání (použitý materiál a obsluha) a nikoliv za výrobu vzoru. Proto je cena malého dílu prstenu, kde byl vzor vyroben 5 osým obráběním, o mnoho vyšší, než je cena větších dílů.



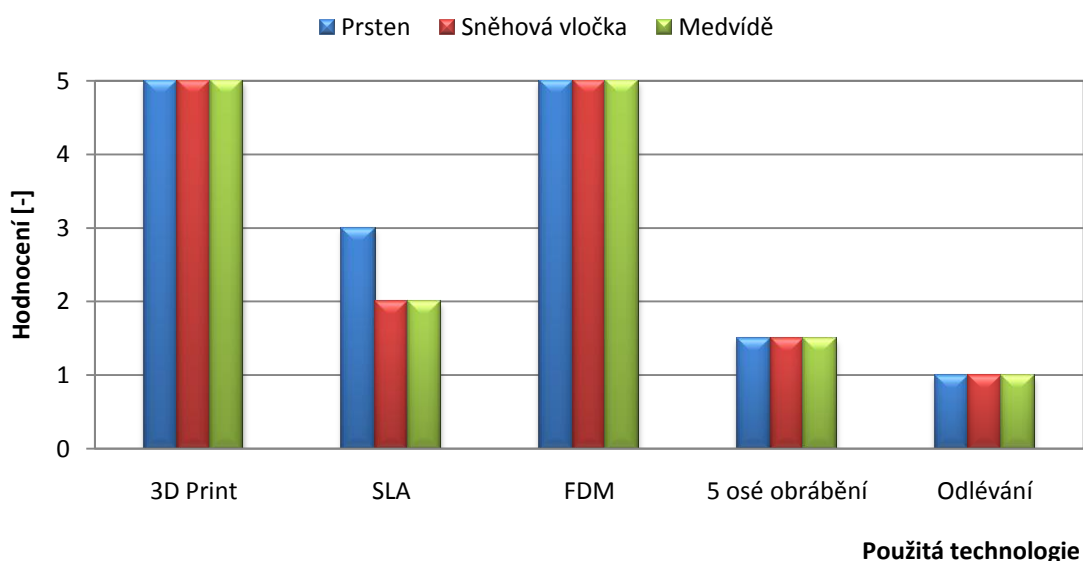
Graf 2: Celková cena

Další část hodnocení je věnována dvěma nejdůležitějším faktorům a to vytvoření fasetování a použitého materiálu. Hodnocení bylo prováděno na oddělení TPV ve firmě Preciosa s.r.o., kde se jednotlivým vzorkům udělovaly známky od 1 (nejlepší) až 5 (nejhorší). Kde ohodnocení menší než tři lze považovat za kvalitní a použitelný vzorek.

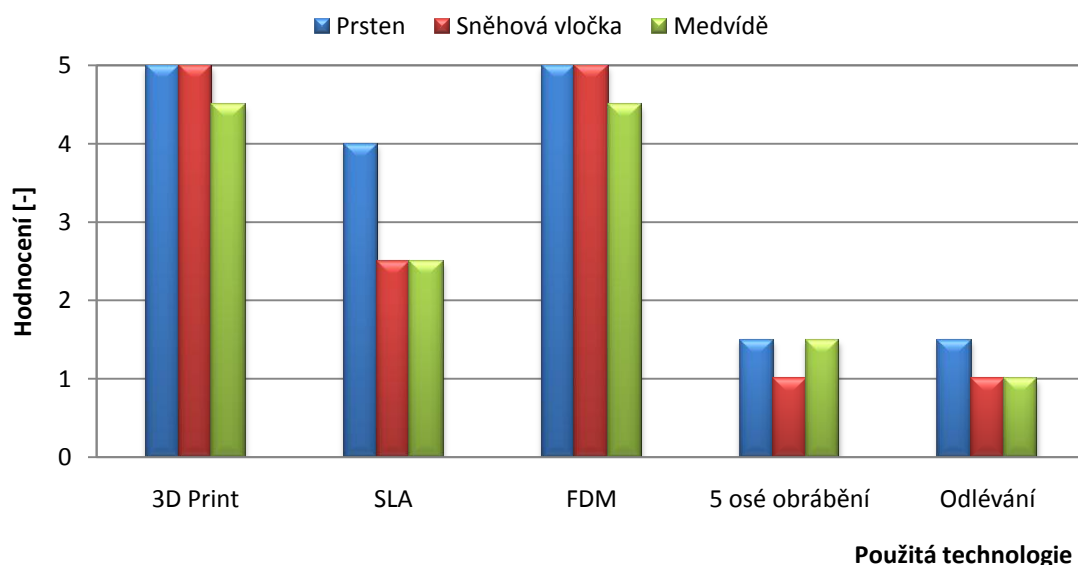
V prvním případě se jedná o kvalitu použitého materiálu (graf 3). U technologií 3DP a FDM bylo jednoznačné, že hodnocení nemůže být jiné než 5. U těchto technologií byly vzorky z netransparentních materiálů. V případě ostatních technologií, které zajišťovaly různé typy transparentních materiálu, se hodnotilo, jak hodně se tyto materiály blíží svými vlastnostmi sklu.

V tomto směru dopadlo nejlépe odlévání do silikonové formy. Materiál byl velice čirý a nejvíce se svými vlastnostmi přibližoval sklu. Na druhém místě zůstala technologie 5 osého obrábění, kde kvůli stopám po nástroji na povrchu vzorku působil vzorek matným dojmem. Pokud by byl vzorek dostatečně broušen (leštěn) a došlo tak k odstranění stop po nástroji, jež lámou světlo, dosáhl by vzorek stejného hodnocení jako v případě odlévání. Na posledním třetím místě se umístil vzorek vyrobený technologií SLA. Tento vzorek byl sice transparentní, avšak nebyl zcela čirý.

Posledním hodnoceným faktorem bylo fasetování (graf 3, graf 4). V tomto směru nejlépe dopadly dvě technologie, a to odlévání a 5 osé obrábění. Obě tyto technologie dokázaly vytvořit plošky s ostrými přechody. Další technologie, díky níž bylo docíleno přijatelného fasetování, ale s horším hodnocením, byla technologie SLA. Ta měla viditelné plošky, avšak jednotlivé přechody měly zaoblené hrany. V místě hustého fasetování došlo ke slití plošek a tím k zániku jejich přechodových hran. Stejně jako v případě materiálu dopadly nejhůře technologie FDM a 3DP. U malých předmětů nebylo vytvořeno žádné fasetování. Fasetování bylo patrné jen na velkých plochách, ale ani v jednom případě nebyly vytvořeny ostré hrany.



Graf 3: Kvalita použitého materiálu



Graf 4: Kvalita fasetování

Z předchozích výsledků vychází jako nejlepší technologie odlévání do silikonové formy, avšak tato technologie byla použita pouze jako doplňková. V této technologii nebyly započítány náklady na výrobu vzoru a také v časové ose nebyl započítán čas na jeho výrobu (mimo prstenu).

Z tohoto důvodu lze považovat za nejlepší technologii 5 osé obrábění a také technologii SLA. Obě tyto technologie jsou schopny vytvořit transparentní vzorek s dobrým fasetováním a tím dostát požadavkům firmy Preciosa s.r.o.

10 Závěr

Diplomová práce měla za cíl zanalyzovat proces výroby modelů nových výrobků ve firmě Preciosa s.r.o. a najít vhodná řešení nalezených problémů či nedostatků.

Analýzou inovačního procesu se dospělo k závěru, že největší problém nastává v samotné výrobě vzorků (prototypů). V současné době jsou vzorky dělány na oddělení TPV, a sice ručně, odléváním sádry do forem z otiskovací hmoty. U takto vyrobených vzorků si nelze udělat přesnou představu, jak by měl výsledný skleněný výrobek vypadat.

Z tohoto důvodu byla práce zaměřena na hledání technologií, které jsou schopny v krátkém časovém úseku vyrobit transparentní vzorek. Transparentní vzorek by poté nahradil stávající sádrový.

Bylo vytipováno pět možných technologií, které se vyznačují rychlou výrobou. V první řadě se jednalo o tři technologie z oblasti Rapid Prototyping. Jednalo se o technologii SLA, která při stavbě modelu používá jako stavební materiál tekutý polymer. Dále 3DP, kde je prášek a poslední technologií byla FDM, kde se staví modely z ABS plastu. Další možností byla technologie 5 osého obrábění a odlévání ve vakuu do silikonové formy. Na těchto pěti technologiích byla odzkoušena výroba pěti vzorků z oblasti bižuterie a figurek.

Výsledkem jsou tři z pěti technologií, které jsou vhodné pro výrobu transparentních vzorků s okrasným fasetováním. Dvě tyto technologie slouží k výrobě samotného vzorku a jsou tedy vhodné k začlenění do inovačního procesu. Jedná se o technologii 5 osého obrábění a SLA. Třetí technologie odlévání ve vakuu má funkci doplňkovou, a to z hlediska nutnosti dokonalého vzoru k vytvoření formy ještě před samotnou výrobou odlitku (vzorku). Tato technologie zajišťuje výrobu většího počtu kusů, kde pouhou změnou použité pryskyřice lze docílit změny mechanické i optické vlastnosti vzorku.

Nejlépe hodnocené technologie jsou vhodné pro výrobu vzorků nejen v závodě Preciosa s.r.o. ale i tam, kde probíhá podobný inovační proces a kde je zapotřebí prototypu, který se svými vlastnostmi nejvíce přibližuje konečnému – skleněnému výrobku.

Při zpracování této práce nebyly odzkoušeny všechny možnosti výroby. Proto by bylo vhodné širšího zmapování technologií RP, a také výrobců strojů a materiálů pro RP. RP technologie se neustále zdokonalují, a proto je tu možnost nalézt vhodnější možnost výroby transparentních vzorků. Například SLA byla jedna z prvních technologií RP a svým zlepšováním je v současné době jediná vhodná pro výrobu transparentních vzorků s ostrými hranami.

V případě 5 osého obrábění by bylo vhodné zaměřit se na přípravu dat, obráběcí nástroje a také vhodné materiály. Vhodným zjednodušením a standardizováním přípravy dat lze docílit úspory vedlejších časů (tvorba NC programu). Stejný vliv na výrobní čas by také mělo použití speciálních nástrojů, které jsou určeny hlavně k obrábění plastických materiálů. Tato možnost by zaručovala použití větších posuvů a otáček bez negativních vlivů na kvalitu povrchu. Tato zlepšení by měla příznivý dopad na celkovou dobu výroby a také cenu.

Seznam použité literatury

- [1] 3D Systems [online]. c1997-2009 [cit. 2009-05-15]. Dostupný z WWW: <http://www.3dsystems.com/products/sla/ipro/ipro_8000.asp>.
- [2] EdgeCam [online]. c2004-2007 [cit. 2009-03-02]. Dostupný z WWW: <<http://www.edgecamcz.cz/>>.
- [3] DRÁPELA, Miloslav. *Modul Rapid Prototyping*. [2008]. 44 s. Vysokého učení technického v Brně. Učební. Dostupný z WWW: <<http://www.vu.vutbr.cz/digidesign/Moduly/RapidPrototyping>>.
- [4] HEZINA, Miloslav, HEŘMAN, Jan, ZEMAN, Karel. *Průmyslové inovace*. 1. vyd. Praha : Oeconomica, 2002. 124 s. ISBN 80-245-0434-0.
- [5] MAŠÍN, Ivan, ŠEVČÍK, Ladislav. *Metody inovačního inženýrství : Inovace, plánování a navrhování výrobků*. 1. vyd. Liberec : Institut technologií a managementu s.r.o., c2006. 181 s. ISBN 80-903533-0-4.
- [6] MOZGA, Jaroslav, VÍTEK, Miloš. *Inovace a nový produkt*. 1. vyd. Hradec Králové : Gaudeamus, 2003. 168 s. ISBN 80-7041-701-3.
- [7] NALE, Daniele. Rhinoceros 4.0 a jeho technologie UDT ve šperkařství. *Rhino3D.cz* [online]. 2007 [cit. 2009-02-12]. Dostupný z WWW: <<http://www.rhino3d.cz/clanky/rhino/rhinoceros-4-0-a-jeho-technologie-udt-ve-sperkarstvi.html>>.
- [8] NAVRÁTIL, Navrátil. *Http://robo.hyperlink.cz/* [online]. 2000 [cit. 2009-03-06]. Dostupný z WWW: <<http://robo.hyperlink.cz/rapid/index.html>>.
- [9] *Preciosa* [online]. c2004 [cit. 2008-11-15]. Dostupný z WWW: <<http://www.preciosa.com/>>.
- [10] Porovnání metod Rapid Prototypingu. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2002, č. 1,2 [cit. 2009-03-06]. Dostupný z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/porovnani-metod-rapid-prototypingu>>.
- [11] ŠAFKA, Jiří. *Problematika 5 osé výroby na Integrex 100*. DP, Liberec, 2007. 77 s. TU v Liberci.Fakulta strojní.Katedra výrobních systémů. Vedoucí diplomové práce Přemysl Pokorný.
- [12] ŠAFKA, Jiří, KELLER, Petr. *Problems with 5 Axes Cutting on Mazak Integrex 100 Machine*. Strojírenská technologie, 2008, zvláštní číslo, s. 106-103. ISBN 1211-4162.
- [13] Technologie Rapid Prototypingu. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2002, č. 1,2 [cit. 2009-03-06]. Dostupný z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/technologie-rapid-prototypingu>>.

- [14] The Edge. *Www.planit.cz* [online]. 2007 [cit. 2009-03-06]. Dostupný z WWW: <<http://www.planit.cz/img/3novinky/zpravodaj/theedge.pdf>>.
- [15] Virtuální prototyping omezuje potřebu fyzických prototypů. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2002, č. 6 [cit. 2009-03-06]. Dostupný z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/virtualni-prototyping-omezuje-potrebu-fyzickych-prototypu>>.
- [16] *Z Corporation* [online]. c2007 [cit. 2009-02-15]. Dostupný z WWW: <<http://www.zcorp.com/en/Products/3D-Printers/ZPrinter-310-Plus/spage.aspx>>.

Seznam obrázků, tabulek a grafů

Obr. 3.1: Vznik nového produktu	13
Obr. 3.2: Forma z hmoty Stomaflex Solid.....	14
Obr. 3.3: Sádrový vzorek medvíděte	14
Obr. 4.1: Prsten 1, 2 v datovém formátu STP a prsten 3 v STL	16
Obr. 4.2: Střed a lístek sněhové vločky ve formátu STP a STL	17
Obr. 4.3: Fotografie již vyrobené skleněné vločky	17
Obr. 4.4: Medvídě ve formátu STL a skleněný model	17
Obr. 5.1: Virtuální model Prstenu 2 v programu Rhinoceros	18
Obr. 6.1: Schéma procesu RP [3]	19
Obr. 6.2: Schéma 3D Print [3]	23
Obr. 6.3: Zprinter 310 [16]	23
Obr. 6.4: Uspořádání 3D modelů na tisk v technologii 3D Print.....	24
Obr. 6.5: Prsten 1, 2, 3 vyroben metodou 3D Print	25
Obr. 6.6: Sněhová vločka vyrobená metodou 3D Print	25
Obr. 6.7: Medvídě vyrobené metodou 3D Print	25
Obr. 6.8: Schéma Stereolitografie [3]	26
Obr. 6.9: Prsten 2 vyrobený metodou Stereolitografie	27
Obr. 6.10: Stroj IPro 8000 [1].....	28
Obr. 6.11: Medvídě vyrobené firmou CRDM Ltd.....	28
Obr. 6.12: Schéma FMD [3]	30
Obr. 6.13: Dimension SST 768.....	31
Obr. 6.14: Rozestavěný a postavený vzorek medvíděte s viditelnými podpěrami	31
Obr. 6.15: Rozpouštění podpor	32
Obr. 6.16: Vyrobený vzorek metodou FDM.....	32
Obr. 6.17: Sněhová vločka vyrobená metodou FDM	33
Obr. 7.1: Obráběcí centrum Mazak Integrex 100-IV.....	34
Obr. 7.2: Kinematické schéma stroje [12]	35
Obr. 7.3: Umístění hlavy do osy polotovaru	36
Obr. 7.4: Upevnění polotovaru	37
Obr. 7.5: Soustružení hlavy a těla medvíděte	37
Obr. 7.6: Soustružení nohy medvíděte.....	38
Obr. 7.7: Hrubování přední části hlavy.....	38
Obr. 7.8: 5 osé obrobení pravé části hlavy	39
Obr. 7.9: 5 osé obrobení levé části hlavy.....	39
Obr. 7.10: 5 osé obrobení horní části nosu	39
Obr. 7.11: 5 osé obrobení spodní části nosu	40
Obr. 7.12: 5 osé obrobení nohy.....	40
Obr. 7.13: Fasetování hlavy	41
Obr. 7.14: Fasetování těla	41
Obr. 7.15: Odstranění modelu od polotovaru	42
Obr. 7.16: Prstény zhotovené 5 osým obráběním.....	43
Obr. 7.17: Části medvíděte vyrobené pomocí 5 osého obrábění	43

Obr. 7.18: Spleené díly vyrobené pomocí 5 osého obrábění	43
Obr. 7.19: Sněhová vločka vyrobená 5 osým obráběním	44
Obr. 8.1: Viditelné stopy nástroje	45
Obr. 8.2: Rozebraný skleněný model.....	46
Obr. 8.3: Umístění vtokových soustav.....	46
Obr. 8.4: Postupné zaplnění formy silikonovou hmotou	47
Obr. 8.5: Rozdělení silikonových forem.....	47
Obr. 8.6: Rozdělená forma na odlévání medvědích nohou.....	48
Obr. 8.7: Smíchání obou složek pryskyřice a nalití směsi do formy	48
Obr. 8.8: Hotové díly před odstraněním vtoků	49
Obr. 8.9: Části medvíděte vyrobené odléváním	50
Obr. 8.10: Spleené části medvíděte vyrobené odléváním.....	50
Obr. 8.11: Prsten z hliníku vyrobený 5 osým obráběním	51
Obr. 8.12: Prsten před a po odstranění vtokové soustavy.....	51
Tab. 1: Souhrn časů a cen při 3D Printingu	24
Tab. 2: Souhrn časů a cen výroby vzorků.....	29
Tab. 3: Hodnocení FDM.....	33
Tab. 4: Hodnocení 5 osého obrábění	44
Tab. 5: Odlévání prstenu.....	51
Tab. 6: Zhodnocení odlévání	51
Graf 1: Celkový čas výroby	52
Graf 2: Celková cena	54
Graf 3: Kvalita použitého materiálu	55
Graf 4: Kvalita fasetování.....	55